

TUGAS AKHIR - TE 141599

STUDI PENYEMPURNAAN JARINGAN 20 KV PADA SISTEM KELISTRIKAN DI ITS

Dany Setyawan
NRP 2215105042

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Falkutas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TE141599

**STUDI PENYEMPURNAAN JARINGAN 20 KV PADA SISTEM
KELISTRIKAN DI ITS.**

Dany Setyawan
NRP 2215 105 042

Dosen Pembimbing
Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TE141599

***STUDY OF 20 KV NETWORK IMPROVEMENT ON THE ITS
ELECTRICAL SYSTEM***

Dany Setyawan
NRP 2215 105 042

Advisor
Ir. Sjamsjul Anam, MT.
Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
Faculty of Electrical Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **Studi Penyempurnaan Jaringan 20 kV pada Sistem Kelistrikan di ITS**, adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2017

Dany Setyawan
Nrp. 2215105042

STUDI PENYEMPURNAAN JARINGAN 20 KV PADA SISTEM KELISTRIKAN DI ITS

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Departemen Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui:

Dosen Pembimbing I,



Ir. Sjamsjul Anam, MT.
NIP. 19630725 199003 1 002

Dosen Pembimbing II,



Dedet C. Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19731119 200003 1 001



Studi Penyempurnaan Jaringan 20 Kv pada Sistem Kelistrikan di ITS

Nama : Dany Setyawan
Pembimbing I : Ir. Sjamsjul Anam, MT
Pembimbing II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRAK

ITS Surabaya merupakan salah satu konsumen listrik dengan konsumsi tegangan 20 kV. Sebagai sebuah institusi yang menjalankan berbagai kegiatan, maka perlu bagi kampus ITS untuk menyediakan sistem kelistrikan yang handal agar kontinuitas pelayanan listrik dapat tercapai. Dalam kondisi yang ada saat ini, kontinuitas dan selektifitas terhadap gangguan yang dapat terjadi pada sistem kelistrikan ITS belum tercapai. Maka dari itulah perlu dilakukan sebuah studi penyempurnaan sistem kelistrikan di ITS. Studi penyempurnaan ini mencakup kondisi temperatur dan kelembaban pada gardu listrik dan koordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault*. Pada tugas akhir ini, nilai temperatur pada gardu yang telah disempurnakan memiliki rata-rata nilai temperatur 24°C dan kelembaban 57%. Sedangkan pada gardu yang belum disempurnakan memiliki rata-rata nilai temperatur 33°C dan kelembaban 65%. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, untuk *setting* peralatan dari *eksisting* rele *overcurrent* dan rele *groundfault*nya terdapat kesalahan, terutama pada bagian *grading time* rele PLN. Setelah dilakukan *resetting* untuk koordinasi proteksi yang baru, koordinasi pengaman antar rele sesuai dengan standar IEEE 242. Dalam hal ini perlu adanya *setting* ulang rele dari pihak PLN agar rele PLN dapat dikoordinasikan dengan rele yang lain yang ada di kelistrikan ITS. Selain itu, pada masing-masing transformator distribusi sisi primernya ditambahkan rele *overload* sebagai pengaman beban lebih.

Kata Kunci : rele *overcurrent*, rele *groundfault*, temperatur, kelembaban.

Halaman ini sengaja dikosongkan

Study of 20 kV Network Improvement on The ITS Electrical System

Nama : Dany Setyawan
Pembimbing I : Ir. Sjamsjul Anam, MT
Pembimbing II : Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D.

ABSTRACT

ITS Surabaya is one of consumer with consumption of 20 kV voltage. As an institution that performs various activities, it is necessary for the ITS campus to provide a reliable electrical system so that the continuity of electricity services can be achieved. At the moment,, continuity and selectivity to the disturbance that can occur in the electrical system of ITS has not been achieved. Therefore, it is necessary to conduct a study to improvement the electrical system in ITS. This study includes temperature and humidity conditions in electrical substations and coordination of overcurrent relay and groundfault relay. In this final project, the temperature value of the substation that has been enhanced has an average temperature value of 24⁰C and 57% humidity. Whereas in not enhanced substation has average temperature value 33⁰C and humidity 65%. From the simulation results that have been done, for setting the equipment from the existing overcurrent rele and its groundfault relay there are an error, especially on the grading time PLN's relay. After resetting for new protection coordination, the coordination of safety between relay in accordance with the standart IEEE 242. In this case the need to re-setting the relay of the PLN to PLN's relay can be coordinated with other relay in the ITS's electricity. In addition, in each of the primary side distribution transformers, there is added overload relay as a safety overload.

Keywords : overcurrent relay, groundfault relay, temperature, humidity

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Segala puji kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis dalam usaha dan kerja sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

“Studi Penyempurnaan Jaringan 20 kV pada Sistem Kelistrikan di ITS”

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan studi di Bidang Studi Teknik Sitem Tenaga, Program Studi S1 Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis dengan tulus ikhlas menyampaikan banyak terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah memberikan anugerah kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini hingga selesai.
2. Bapak Ir. Sjamsjul Anam, M.T. dan Bapak Dedet Candra Riawan, ST., M.Eng., Ph.D selaku dosen pembimbing, atas segala kesabaran dan kesediaannya meluangkan waktu untuk membimbing serta memberi dukungan sehingga laporan ini dapat terselesaikan tepat waktu.
3. Bapak dan Ibu selaku kedua orang tua penulis atas do’a, semangat, kasih sayang, dan kepercayaan yang diberikan selama ini, serta dukungan baik moril maupun materiil.
4. Bapak Ardi Purwono selaku Kepala Sarana dan Prasana ITS yang telah memberikan izin untuk melakukan penelitian dalam menyelesaikan laaporan tugas akhir ini.
5. Keluarga EI 16 yang selalu mensupport dan memberi semangat dalam suka maupun duka demi menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Terutama kepada Shofia Khalissatus Sa’adah, Fidy Eka Prahesti, Angga Silahuddin, Dirman Hariono Santosa, Muhammad Infaq Dahlan, Khalid Oki Wibowo, dan Alin Wahyu Setyawan.
6. Balqis Silvi Rahmanita yang selama pengerjaan Tugas Akhir ini selalu memberi dukungan dan semangat bagi penulis baik secara langsung maupun tidak langsung.

7. Teman-teman TA topik proteksi, Shofia,Vania,April, Thea, Imam, Putu, Ilham, dan Wahyu. Terima kasih atas diskusi selama ini yang telah banyak membantu penulis untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.
8. Teknisi Sarana dan Prasarana ITS mas Rizal, mas Zaenal, dan pak Samsul yang telah menemani saya keliling melihat kondisi gardu kelistrikan ITS.
9. Mbak Indah selaku admin di Sarana dan Prasarana ITS yang membantu menyelesaikan proses administrasi saya dalam melakukan penelitian di lingkungan ITS.
10. Teruntuk Shofia Kholisatus Sa'adah yang telah membantu dan dengan sabar mengajari saya tentang materi Proteksi, terima kasih banyak.
11. Teman-teman LJ Teknik Elektro 2015 yang telah memberi masukan untuk menunjang Tugas Akhir ini.
12. Dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberi dorongan dan bantuan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Kesalahan tak terpisahkan dari jalan kehidupan manusia. Karena itu, saya sebagai penulis meminta maaf apabila dalam pembuatan maupun penyusunan Tugas Akhir ini banyak terdapat kekurangan. Dengan segala kerendahan hati, semoga dengan terselesaikannya Tugas Akhir ini, dapat bermanfaat bagi kita semua sebagai pengembangan ilmu pengetahuan umumnya dimasa mendatang.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

DAFTAR ISI

JUDUL	i
PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Metodologi	2
1.6 Sistematika Laporan Tugas Akhir	4
1.7 Relevansi	5
BAB II. SISTEM EKSISTING KELISTRIKAN ITS DAN TEORI PENUNJANG	
2.1 Sistem Eksisting Kelistrikan di ITS	7
2.2 Gardu Listrik pada Sistem Kelistrikan Eksisting di ITS	8
2.2.1 Gardu Rektorat	8
2.2.2 Gardu Sipil	9
2.2.3 Gardu Diploma 3 (D3)	9
2.2.4 Gardu Fakultas Teknologi Kelautan (FTK)	10
2.2.5 Gardu Fakultas Teknologi Informasi (FTIf)	11
2.2.6 Gardu Robotika	11
2.3 Kondisi Lingkungan Gardu Listrik	12
2.4 Gangguan pada Sistem Tenaga Listrik	15
2.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat	17
2.5.1 Perhitungan Rangkaian Ekuivalensi dalam pu	17
2.5.2 Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	18
2.5.3 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	19
2.5.4 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah	20
2.5.5 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah	21
2.6 Komponen Sistem Proteksi dan Prinsip Kerjanya	21
2.6.1 <i>Circuit Breaker</i>	21

2.6.2	<i>Fuse</i>	22
2.6.3	Trafo Arus (<i>Current Transformer</i>)	23
2.7	Relay Arus Lebih (<i>Overcurrent Relay</i>)	24
2.8.1	Relay <i>Overcurrent Invers Time</i> (Waktu Terbalik)... ..	24
2.8.2	Relay <i>Overcurrent Instantaneous Time</i>	25
2.8.3	Relay <i>Overcurrent Definite Time</i>	26
2.8.4	Relay <i>Overcurrent Invers Definite Minimum Time</i> .	26
2.8	Rele <i>Groundfault</i>	27
2.9	Setting Rele <i>Overcurrent Invers Time</i>	27
2.9.1	<i>Schneider Electric</i> Sepam Series 40 dan Series 20 menggunakan <i>Stanndart</i> IEC	28
2.10	Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu	29
2.11	Standar Rekomendasi dalam Pemasangan <i>Switchgear</i>	29
2.11.1	Standar Kondisi Operasi <i>Switchgear</i>	29

BAB III. PENYEMPURNAAN JARINGAN 20 KV DI ITS DAN PERANCANGAN DATA LOGGER

3.1	Penyempurnaan Jaringan 20 kv	31
3.1.1	Peralatan Pengaman Kelistrikan di ITS	31
3.1.1.1	Peralatan Pengaman pada <i>Case 1</i>	32
3.1.1.2	Peralatan Pengaman pada <i>Case 2</i>	34
3.1.2	Penyempurnaan Kondisi Lingkungan pada Gardu Listrik	37
3.2	Data Peralatan Kelistrikan di ITS	40
3.3	Data Transformator	40
3.4	Data Beban	41
3.5	Perancangan dan Pembuatan Alat <i>Data Logger</i>	41
3.5.1	Prinsip Kerja Alat	41
3.5.2	Perancangan Perangkat Elektronik (<i>Hardware</i>)	42
3.5.3	Perancangan Mikrokontroller	43
3.5.4	Perancangan Rangkaian Sensor DHT22	44
3.6	Perancangan Perangkat Lunak (<i>Software</i>)	45
3.6.1	Perancangan Pembacaan Sensor DHT22	45
3.6.2	Perancangan <i>Data Logger</i>	46

BAB IV. HASIL PENGUJIAN ALAT, SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI

4.1	Pengujian Alat	50
4.1.1	Pengujian Sensor Temperatur dan Kelembaban	50

4.2	Pengambilan Data pada Gardu Listrik	55
4.2.1	Data Temperatur dan Kelembaban pada Gardu SAC, SARPRAS, PUSKOM, dan Lingkungan	55
4.2.2	Data Temperatur dan Kelembaban pada Gardu Rektorat	62
4.2.3	Perbandingan Nilai Temperatur dan Kelembaban Pada Gardu yang Belum dilakukan Penyempurnaan dan Gardu yang telah dilakukan Penyempurnaan ...	69
4.3	Koordinasi Proteksi	71
4.4	Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat	71
4.4.1	Analisis Hubung Singkat Minimum	71
4.4.2	Analisis Hubung Singkat Maksimum	72
4.5	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa	73
4.6	Pemilihan Tipikal Koordinasi Kelistrikan ITS	73
4.7	Koordinasi Rele Pengaman	74
4.8	Perhitungan Kapasitas Peralatan	74
4.9	Koordinasi Proteksi pada Kondisi Eksisting	86
4.9.1	Koordinasi Proteksi Eksisting Rele Arus Lebih pada <i>Case 1</i>	86
4.9.2	Koordinasi Proteksi Eksisting Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 1</i>	88
4.9.3	Koordinasi Proteksi Eksisting Rele Arus Lebih pada <i>Case 2</i>	90
4.9.4	Koordinasi Proteksi Eksisting Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 2</i>	92
4.10	Koordinasi Proteksi pada Kondisi <i>Resetting</i>	95
4.10.1	Koordinasi Proteksi Baru Rele Arus Lebih pada <i>Case 1</i>	95
4.10.2	Koordinasi Proteksi Baru Rele Arus Lebih pada <i>Case 2</i>	102
4.10.3	Koordinasi Proteksi Baru Rele Arus Lebih pada <i>Case 1</i> dengan <i>Setting</i> Ulang Rele PLN	110
4.10.4	Koordinasi Proteksi Baru Rele Arus Lebih pada <i>Case 2</i> dengan <i>Setting</i> Ulang Rele PLN	114
4.11	Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah	116
4.11.1	Koordinasi Proteksi Baru Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 1</i>	117
4.11.1	Koordinasi Proteksi Baru Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 2</i>	121

4.12 Tabulasi Eksisting dan <i>Resetting</i> Peralatan Pengaman	125
BAB V. PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	127
5.2 Saran	127
DAFTAR PUSTAKA	128
LAMPIRAN A : Data-Data Existing Kelistrikan ITS	A-1
<i>Single Line Diagram Sistem Kelistrikan ITS</i>	A-4
<i>Single Line Diagram dengan Pembagian Case</i>	
<i>Sistem Kelistrikan ITS</i>	A-5
LAMPIRAN B : Single Line Diagram Penyempurnaan Sistem	
<i>Kelistrikan ITS</i>	B-1
LAMPIRAN C : Program	C-1
BIODATA PENULIS	D-1

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Gardu Rektorat	8
Gambar 2.2	Gardu Sipil	9
Gambar 2.3	Gardu Diploma 3 (D3)	9
Gambar 2.4	Gardu Fakultas Teknologi Kelautan (FTK)	10
Gambar 2.5	Gardu Fakultas Teknologi Informasi (FTIf)	11
Gambar 2.6	Area Transformator dan Instalasi Panel <i>Cubicle</i>	12
Gambar 2.7	Ventilasi Udara	13
Gambar 2.8	Debu pada Area Panel <i>Cubicle</i>	13
Gambar 2.9	Saluran Bawah Kabel Tempas Air Masuk ke Area Instalasi Panel <i>Cubicle</i>	14
Gambar 2.10	Rangkaian Ekvale ⁿ <i>Single Phase</i> Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa	19
Gambar 2.11	Rangkaian Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa	19
Gambar 2.12	Rangkaian Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah	20
Gambar 2.13	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Invers Time</i>	25
Gambar 2.14	Karakteristik <i>Very Inverse, Standart Inverse,</i> <i>Extremely Inverse</i>	25
Gambar 2.15	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Instantaneous</i>	26
Gambar 2.16	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Definite Time</i>	26
Gambar 2.17	Karakteristik Rele <i>Overcurrent Invers Definite</i> <i>Minimum Time</i>	27
Gambar 3.1	Peralatan Pengaman pada Eksisting <i>Case 1</i>	32
Gambar 3.2	Peralatan Pengaman pada Eksisting <i>Case 2</i>	34
Gambar 3.3	Area Transformator dan Instalasi Panel <i>Cubicle</i> yang Dipisahkan oleh Sekat Bangunan	37
Gambar 3.4	<i>Air Conditioner</i> yang Berada pada Area Instalasi Panel <i>Cubicle</i>	38
Gambar 3.5	Ventilasi Udara	39
Gambar 3.6	Area Instalasi Panel <i>Cubicle</i>	39
Gambar 3.7	Diagram Fungsional dari Prinsip Alat	42
Gambar 3.8	Rancangan Rangkaian <i>Mikrokontroller</i>	43
Gambar 3.9	<i>Flowchart</i> Pembacaan Sensor	46
Gambar 3.10	<i>Flowchart Data Logger</i>	47
Gambar 4.1	Pengambilan Data Sebelum Proses Kalibrasi	52
Gambar 4.2	Pengambilan Data Setelah Proses Kalibrasi	54
Gambar 4.3	<i>Data Logger</i>	54

Gambar 4.4	Pemasangan <i>Data Logger</i> pada Gardu SAC, SARPRAS, PUSKOM, dan Lingkungan	55
Gambar 4.5	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 16 Maret 2017.....	56
Gambar 4.6	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 17 Maret 2017.....	56
Gambar 4.7	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 18 Maret 2017.....	57
Gambar 4.8	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 19 Maret 2017.....	57
Gambar 4.9	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 20 Maret 2017.....	58
Gambar 4.10	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 21 Maret 2017.....	58
Gambar 4.11	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 22 Maret 2017.....	59
Gambar 4.12	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 23 Maret 2017.....	59
Gambar 4.13	Grafik Rata-rata Pengujian <i>Data Logger</i> Tanggal 16 – 23 Maret 2017	60
Gambar 4.14	Pemasangan <i>Data Logger</i> pada Gardu Rektorat	62
Gambar 4.15	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 10 Mei 2017.....	63
Gambar 4.16	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 11 Mei 2017.....	63
Gambar 4.17	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 12 Mei 2017.....	64
Gambar 4.18	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 13 Mei 2017.....	64
Gambar 4.19	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 14 Mei 2017.....	65
Gambar 4.20	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 15 Mei 2017.....	65
Gambar 4.21	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 16 Mei 2017.....	66
Gambar 4.22	Grafik Pengujian <i>Data Logger</i> 17 Mei 2017.....	66
Gambar 4.23	Grafik Rata-rata Pengujian <i>Data Logger</i> Tanggal 10 – 17 Mei 2017	67
Gambar 4.24	Perbandingan Nilai Temperatur pada Gardu Sebelum dengan Sesudah Dilakukan Penyempurnaan	69
Gambar 4.25	Perbandingan Nilai Kelembaban pada Gardu Sebelum dengan Sesudah Direkonfigurasi	70
Gambar 4.26	Diagram Impedansi	75
Gambar 4.27	Diagram Impedansi <i>Short Circuit</i> di bus A	81
Gambar 4.28	Diagram Impedansi <i>Short Circuit</i> di bus B1	82
Gambar 4.29	Diagram Impedansi <i>Short Circuit</i> di bus B2	83
Gambar 4.30	Diagram Impedansi <i>Short Circuit</i> di bus B3	84
Gambar 4.31	Diagram Impedansi <i>Short Circuit</i> di bus C	85
Gambar 4.32	Eksisting <i>Case 1 Rele Overcurrent</i>	86
Gambar 4.33	Hasil Plot Eksisting Rele <i>Overcurrent Case 1</i>	87
Gambar 4.34	Hasil Plot Eksisting Rele <i>Groundfault Case 1</i>	89
Gambar 4.35	Eksisting <i>Case 2 Rele Overcurrent</i>	90

Gambar 4.36	Hasil Plot Eksisting Rele <i>Overcurrent Case 2</i>	91
Gambar 4.37	Hasil Plot Eksisting Rele <i>Groundfault Case 2</i>	93
Gambar 4.38	Koordinasi Proteksi Baru Rele <i>Overcurrent</i> pada <i>Case 1</i>	95
Gambar 4.39	Hasil Plot Rele <i>Overcurrent Case 1</i> dengan Eksisting Rele PLN	100
Gambar 4.40	Koordinasi Proteksi Baru Rele <i>Overcurrent</i> pada <i>Case 2</i>	102
Gambar 4.41	Hasil Plot Rele <i>Overcurrent Case 2</i> dengan Eksisting Rele PLN	108
Gambar 4.42	Hasil Plot Rele <i>Overcurrent Case 1</i> dengan <i>Resetting</i> Rele PLN	113
Gambar 4.43	Hasil Plot Rele <i>Overcurrent Case 2</i> dengan <i>Resetting</i> Rele PLN	115
Gambar 4.43	Koordinasi Proteksi Baru Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 1</i>	117
Gambar 4.43	Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 1</i> ..	120
Gambar 4.43	Koordinasi Proteksi Baru Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 2</i>	121
Gambar 4.44	Hasil Plot <i>Resetting</i> Rele <i>Groundfault</i> pada <i>Case 2</i> ..	124

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Jenis Gangguan Hubung Singkat	16
Tabel 2.2	Batas Awal Ketahanan Hubung Singkat Untuk Berbagai Ukuran Trafo Distribusi (SPLN 50 : 1982) ...	23
Tabel 2.3	Konstanta <i>Setting Time Dial</i> Rele Sepam <i>Series</i> 40 dan 20	28
Tabel 2.4	Standar Temperatur Operasi <i>Switchgear</i>	29
Tabel 2.5	Standar Kelembaban Operasi <i>Switchgear</i>	30
Tabel 3.1	Peralatan Sistem Kelistrikan ITS	40
Tabel 3.2	Data Transformator	41
Tabel 3.3	Data Beban	41
Tabel 3.4	Performasi Kelembaban Relatif DHT22	44
Tabel 3.4	Performasi Temperatur Relatif DHT22	45
Tabel 4.1	Data Pengukuran Sensor DHT22 Sebelum Kalibrasi ...	51
Tabel 4.2	Data Pengukuran Sensor DHT22 Setelah Kalibrasi	53
Tabel 4.3	Rata – Rata Nilai Temperatur dan Kelembaban 16 – 23 Maret 2017	60
Tabel 4.4	Rata – Rata Nilai Temperatur dan Kelembaban 10 – 17 Mei 2017	67
Tabel 4.5	Data Arus Hubung Singkat Miminum	72
Tabel 4.6	Data Arus Hubung Singkat Maksimum	72
Tabel 4.7	Tabulasi Eksisting dan <i>Resetting</i> Peralatan Pengaman	126

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kontinuitas pelayanan listrik yang baik tidak terlepas dari sistem kelistrikan yang handal. Dalam sebuah sistem kelistrikan, listrik yang berasal dari PLN (Perusahaan Listrik Negara) akan disalurkan ke konsumen secara langsung melalui sistem proteksi keamanan sistem distribusi yang disediakan oleh pihak konsumen, khususnya untuk konsumen dengan konsumsi tegangan 20 kV.

Kampus ITS Surabaya, merupakan salah satu konsumen listrik dari PLN dengan konsumsi tegangan 20 kV. Sebagai sebuah institusi yang menjalankan berbagai kegiatan khususnya kegiatan akademik, maka dipandang perlu bagi kampus ITS untuk menyediakan sistem kelistrikan yang handal agar kontinuitas pelayanan listrik dapat tercapai, sehingga aktifitas yang terjadi di kampus ITS dapat berjalan dengan baik.

Dalam kondisi yang ada saat ini, kampus ITS terus mengalami proses perkembangan. Pembangunan fasilitas kampus yang baru seperti gedung, perbaikan fasilitas laboratorium dan kegiatan yang menunjang proses akademik mahasiswa semakin lama semakin meningkat. Ini mengakibatkan kondisi beban listrik yang ada di kampus ITS juga turut meningkat.

Peningkatan kondisi beban listrik di kampus ITS belum diikuti dengan perbaikan sistem distribusi kelistrikannya. Sistem distribusi kelistrikan yang ada masih menggunakan satu *breaker* dibagian *incoming*. Akibatnya bila terjadi pemadaman, dampak pemutusan listrik akan luas, dan menyebabkan aktifitas akademik mahasiswa akan terganggu.

Oleh karena itu, untuk mengatasi permasalahan diatas, dibutuhkan sebuah studi penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS. Studi ini memiliki tiga ruang lingkup, yaitu pertama mengevaluasi sistem eksisting kelistrikan di ITS yang mencakup letak *switchgear*, kondisi lingkungan dan pola operasi eksistingnya, kedua studi penyempurnaan ini hanya terbatas pada sistem distribusi 20 kV, dan yang ketiga tentang koordinasi proteksi yang dilakukan pada rele arus lebih (*overcurrent*) dan rele *groundfault*. Diharapkan dengan adanya penyempurnaan jaringan 20 kV ini, selektifitas dan kontinuitas kelistrikan dapat tercapai.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Melakukan evaluasi sistem eksisting yang ada di ITS ditinjau pada kondisi lingkungan yang meliputi temperatur dan kelembaban pada gardu.
2. Melakukan studi penyempurnaan jaringan distribusi 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS.
3. Mengkoordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault* pada sistem kelistrikan di ITS.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang diperlukan pada Tugas Akhir ini adalah :

1. Evaluasi sistem eksisting kelistrikan di ITS hanya memperhatikan kondisi lingkungan yang meliputi temperatur dan kelembaban pada gardu yang belum terekonfigurasi dan gardu yang telah terekonfigurasi.
2. Studi penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS hanya dibatasi pada sistem distribusi jaringan 20 kV.
3. Koordinasi proteksi dilakukan pada rele *overcurrent* dan rele *groundfault*.

1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada Tugas Akhir ini :

1. Memperbaiki kondisi substation jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS ditinjau dari kondisi lingkungan dan kelistrikannya.
2. Memperoleh sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik.

1.5 Metodologi

Metodologi yang digunakan dalam Tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Persiapan dan Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan teori penunjang berupa buku, jurnal atau paper yang berhubungan dengan tugas akhir. Teori-teori penunjang seperti studi analisis sistem distribusi radial, kondisi lingkungan perhitungan tegangan dan arus pada masing-masing bus menggunakan analisa *load flow*, sistem proteksi yang meliputi perhitungan setting relay, kapasitas breaker, kapasitas *fuse*,

dan analisis gangguan seperti gangguan *short circuit* 3 fasa, *short circuit* 2 fasa, *short circuit* 1 fasa ke tanah.

2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada jaringan 20 kV sistem kelistrikan ITS adalah pengumpulan data peralatan yang dibutuhkan dalam analisis tugas akhir. Data peralatan yang dibutuhkan yaitu sebagai berikut: *rating* tegangan pada sistem, posisi letak *switchgear* pada masing-masing gardu, kondisi lingkungan dan pola operasi eksistingnya, *single line diagram* sistem kelistrikan ITS, data transformator, sistem pentanahan peralatan, dan data pembebanan nominal pada setiap bus.

3. Simulasi Sistem

Setelah mendapatkan data-data dan literatur yang mendukung pengerjaan tugas akhir ini, Penulis melakukan permodelan dalam bentuk simulasi menggunakan *software* ETAP 12.6. Permodelan ini menggambarkan sistem kelistrikan jaringan 20 kV ring utara ITS dalam bentuk *single line diagram*. Selanjutnya dilakukan simulasi aliran daya dan hubung singkat. Hal ini bertujuan untuk mengetahui besarnya daya dan arus hubung singkat pada sistem sehingga kapasitas peralatan, setting rele *overcurrent* dan rele *groundfault* dapat dikoordinasikan dengan baik.

4. Analisis Data

Dari simulasi, akan didapatkan hasil aliran daya dan hubung singkat. Hasil ini digunakan untuk mendapatkan setting koordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault* yang paling tepat untuk diterapkan pada sistem kelistrikan ITS. Kemudian, analisis ini digambarkan pada kurva karakteristik rele *overcurrent* dan rele *groundfault*. Dari hasil analisis ini, dapat diketahui apakah setelan koordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault* yang didapatkan dari hasil analisis aliran daya dan hubung singkat pada sistem kelistrikan sudah tepat untuk mengatasi dampak pemadaman yang meluas dan selektifitas gangguan. Untuk letak *switchgear*, kondisi lingkungan dan pola operasi eksisting pada sistem kelistrikan akan dibandingkan dengan standar produk yang digunakan.

5. Penyusunan Laporan Tugas Akhir

Penyusunan laporan dilakukan dari awal, studi literatur hingga analisis data serta mendapat kesimpulan terhadap penyempurnaan sistem kelistrikan di ITS.

1.6 Sistematika Laporan Tugas Akhir

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu :

BAB I : PENDAHULUAN

Bagian ini membahas dasar-dasar penyusunan Tugas Akhir meliputi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika laporan, serta relevansi dari penulisan.

BAB II : SISTEM EKSISTING KELISTRIKAN ITS DAN TEORI PENUNJANG

Bagian ini membahas teori-teori penunjang yang melandasi Tugas Akhir ini, diantaranya tentang dasar-dasar *power system analysis* seperti analisa *load flow*, koordinasi proteksi, perhitungan kapasitas pengaman pada sistem kelistrikan meliputi rele *overcurrent* dan rele *groundfault*, kondisi lingkungan serta dasar dalam menghitung besarnya arus dan tegangan saat terjadi *short circuit*.

BAB III : PENYEMPURNAAN JARINGAN 20 KV DI ITS DAN PERANCANGAN DATA LOGGER

Bagian ini meliputi penyempurnaan jaringan 20 Kv di ITS, dan perancangan data logger untuk pengambilan data temperatur dan kelembaban pada gardu di ITS.

BAB IV : HASIL PENGUJIAN ALAT, SIMULASI DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI

Berisi hasil data pengujian alat data logger meliputi temperatur dan kelembaban pada gardu di ITS, simulasi serta analisis terhadap kinerja koordinasi rele *overcurrent* dan rele *groundfault* ketika terjadi gangguan hubung singkat,

BAB V : PENUTUP

Menjelaskan tentang kesimpulan dari Tugas Akhir ini dan saran-saran untuk pengembangan analisis data ini lebih lanjut.

1.7 Relevansi

Hasil yang diperoleh dari Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Untuk Institusi

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi kampus ITS khususnya bagian ring utara ITS sehingga bisa dijadikan acuan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi kelistrikan di ITS.

2. Untuk bidang ilmu pengetahuan

Sebagai penelitian lebih lanjut dalam pengembangan kampus ITS, dan sebagai referensi mahasiswa lain yang mengambil masalah serupa untuk Tugas Akhir.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

SISTEM EKSISTING KELISTRIKAN ITS DAN TEORI PENUNJANG

Kontinyuitas dan selektifitas pemadaman pada sistem kelistrikan akan dapat tercapai apabila dilengkapi dengan sistem proteksi yang terkoordinasi dengan baik. Terkoordinasinya sistem proteksi ini tidak terlepas dari setting peralatan pengaman yang digunakan (dalam hal ini rele *overcurrent* dan rele *groundfault*), kondisi lingkungan peralatan tersebut diletakkan dan pola operasi eksistingnya. Ketiga hal tersebut erat kaitannya dalam sebuah penyempurnaan sistem kelistrikan. Ketika tiga hal tersebut terpenuhi, diharapkan sistem kelistrikannya mampu mengatasi gangguan-gangguan hubung singkat yang dapat timbul pada sebuah sistem kelistrikan.

2.1 Sistem Eksisting Kelistikan di ITS

Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) merupakan salah satu perguruan tinggi negeri yang terletak di Surabaya. Kampus ITS ini menempati areal seluas 180 hektare, dengan luas bangunan seluruhnya kurang lebih 150.000 m². ITS membagi sistem kelistrikannya menjadi dua bagian, yaitu ITS bagian ring utara dan bagian ring selatan. Dalam tugas akhir ini, sistem kelistrikan yang dibahas hanya pada sistem kelistrikan bagian ring utara. Untuk bagian ring utara meliputi gardu rektorat, gardu Fakultas Teknologi Sipil dan Perencanaan (FTSP), gardu Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), gardu Fakultas Teknologi Informasi (FTif), gardu Diploma 3 dan gedung arena (robotika dan laboratorium energi).

Kelistrikan di ITS disuplai dari penyulang gardu induk sukolilo menuju *central substation* yang terletak pada gardu rektorat dengan suplai sebesar 20 kV. Sistem kelistrikan di ITS sepenuhnya menggunakan jaringan sistem distribusi radial, baik itu ring utara maupun ring selatan. Beban kelistrikan di ITS banyak digunakan dalam kegiatan operasional akademik, seperti ruang kelas, laboratorium, ruang kegiatan mahasiswa, dan lain-lain.

Jaringan Tegangan Menengah (JTM) yang terdapat pada sistem kelistrikan di ITS hingga mampu mensuplai masing-masing kebutuhan gardu di bagian ring utara juga ditunjang oleh adanya trafo distribusi yang

terpasang pada tiap masing-masing gardu. Pada gardu yang menggunakan trafo distribusi terpasang berkapasitas 800 KVA diantaranya adalah gardu FTSP, gardu FTK, dan gardu D3. Sedangkan penyulang dari trafo distribusi terpasang berkapasitas 630 kVA terletak pada gedung arena. Berdasarkan peninjauan letak dan kondisi lapangan secara langsung, trafo distribusi pada tiap masing-masing gardu ini ruangnya bersebelahan dengan *switchgear*.

Untuk instalasi *switchgear* maupun trafo distribusinya, pada semua gardu sepenuhnya berada di dalam ruangan (*indoor*).

2.2 Gardu Listrik pada Sistem Kelistrikan Eksisting di ITS

Dalam sistem kelistrikan di ITS, dibagi dalam 6 gardu, yang masing-masing dari gardu tersebut membagi beban kelistrikan ke beberapa kelompok gedung / bangunan. Berikut ini 6 gardu yang ada pada sistem kelistrikan di ITS :

2.2.1 Gardu Rektorat

Gardu rektorat membagi wilayah kelompok beban kelistrikan untuk beberapa gedung disekitarnya. Lokasi gardu rektorat ini tepatnya berada di belakang perpustakaan pusat. Yang termasuk dalam wilayah pembagian kelistrikan gardu rektorat antara lain gedung rektorat, gedung perpustakaan, gedung UPMB, gedung pasca sarjana, gedung LPPM, gedung laboratorium energi, dan gedung riset. Pada gardu rektorat ini, peralatan pengaman *incoming* gardu ITS, *outgoing* gardu sipil, *outgoing* gardu Fakultas Teknologi Kelautan berada pada satu lokasi yang sama.



Gambar 2.1 Gardu Rektorat

2.2.2 Gardu Sipil

Untuk gardu sipil ini, membagi wilayah kelompok beban kelistrikan untuk beberapa gedung disekitarnya. Yang termasuk dalam wilayah pembagian kelistrikan gardu sipil antara lain gedung teknik sipil, gedung teknik arsitektur, gedung Perencanaan Wilayah dan Kota (PWK), gedung teknik geofisika, gedung teknik lingkungan, dan gedung desain produksi.



Gambar 2.2 Gardu Sipil

2.2.3 Gardu Diploma 3 (D3)

Pada gardu D3, membagi wilayah kelompok beban kelistrikan untuk beberapa gedung disekitarnya. Lokasi gardu D3 ini tepatnya berada di samping bangunan bengkel D3 teknik mesin. Yang termasuk dalam wilayah pembagian kelistrikan gardu D3 antara lain gedung D3 teknik mesin, gedung D3 teknik elektro, gedung D3 teknik kimia, gedung teknik industri, gedung UPT bahasa, gedung graha dan sekitar lingkungan graha. Namun, kondisi saat peninjauan lokasi secara langsung ke gardu D3, untuk beban kelistrikan gedung graha dan gedung UPT bahasa telah terpisah dengan gardu D3, sehingga berada pada gardu tersendiri yang letaknya dekat dengan gedung UPT bahasa.



Gambar 2.3 Gardu D3

2.2.4 Gardu Fakultas Teknologi Kelautan (FTK)

Gardu FTK membagi wilayah kelompok beban kelistrikan untuk beberapa gedung disekitarnya. Yang termasuk dalam wilayah pembagian kelistrikan gardu sipil antara lain gedung kelautan, gedung pusat riset ITS, dan gedung Fakultas Teknologi Informasi (FTIf).



Gambar 2.4 Fakultas Teknologi Kelautan

2.2.5 Gardu Fakultas Teknologi Informasi (FTIf)

Pada gardu FTIf ini wilayah kelompok bebannya hanya pada fakultas ini sendiri. Gardu ini mendapatkan suplai daya tanpa ada transformator distribusi, mengingat kelompok beban yang ada pada gardu ini tidak terlalu banyak seperti pada gardu-gardu yang lainnya.



Gambar 2.5 Gardu FTIf

2.2.6 Gardu Robotika

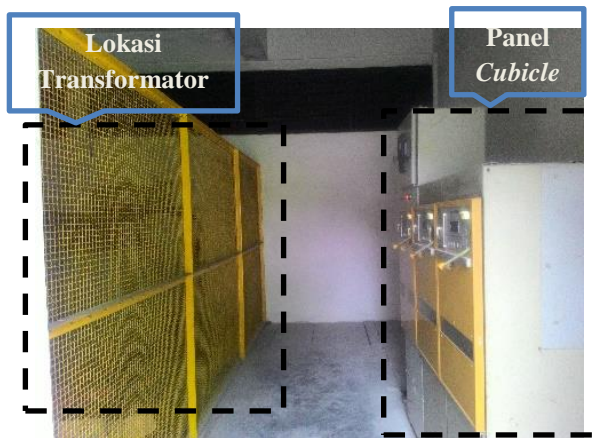
Gardu Robotika membagi wilayah kelompok beban kelistrikan untuk beberapa gedung disekitarnya. Yang termasuk dalam wilayah pembagian kelistrikan gardu sipil antara lain gedung robotika dan gedung rekayasa forensik.

Pada setiap masing-masing gardu, juga dilengkapi dengan peralatan pengaman, baik itu pada sisi *incoming*nya maupun pada sisi *outgoing*nya. Peralatan pengaman ini ada yang berupa *fuse*, *Load Breaking Switch* (LBS), dan *circuit breaker*. Untuk lebih jelas peralatan apa yang digunakan pada sistem eksisting kelistrikan di ITS dapat dilihat pada *single line diagram* di bagian lampiran A-4

2.3 Kondisi Lingkungan Gardu Listrik

Penyempurnaan sistem kelistrikan di ITS selain ditinjau dari sisi peralatan pengamannya, juga ditinjau dari kondisi lingkungan gardu listrik tersebut. Kondisi lingkungan pada gardu listrik ini meliputi temperatur dan kelembabannya. Pada beberapa kejadian yang pernah terjadi pada gardu kelistrikan ITS, seperti tumbuhnya jamur pada konduktor kabel, banyaknya debu disekitar panel *cubicle*, dan lain-lainnya menyebabkan gardu akan dapat *trip* dengan tiba-tiba. Berikut akan digambarkan kondisi gardu yang belum dilakukan penyempurnaan :

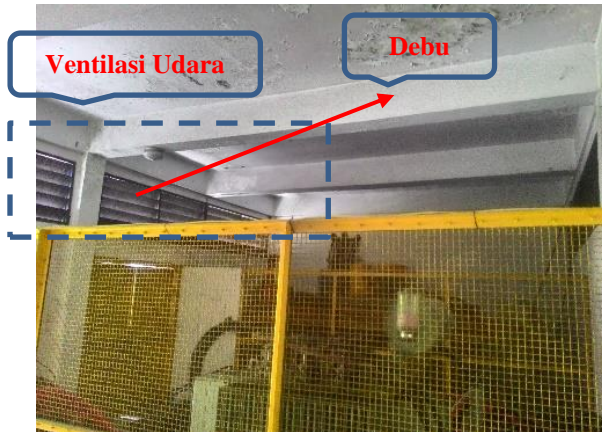
1. Pada gardu ini, letak transformator distribusi dan area instalasi panel *cubicle* berada pada satu ruangan yang sama, dan hanya dipisahkan oleh pelindung pagar baja yang secara keseleuruhan terlihat terbuka. Hal ini menyebabkan temperatur lingkungan dari area instalasi panel *cubicle* terpengaruh secara langsung oleh temperatur kerja dari transformator. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6 Area Transformator dan Instalasi Panel *Cubicle*

2. Ventilasi udara pada ruangan ini gambar 2.7 tidak terlalu banyak dan banyak debu di area sekitar ventilasi. Akibatnya, pendinginan yang seharusnya dapat dilakukan dengan menggunakan sirkulasi udara dari luar tidak dapat terjadi dengan baik. Udara secara terus menerus akan berada pada area instalasi panel *cubicle* dan area kerja transformator

dalam jangka waktu yang lama, mempercepat timbulnya debu serta meningkatkan temperatur lingkungan di dalam gardu.



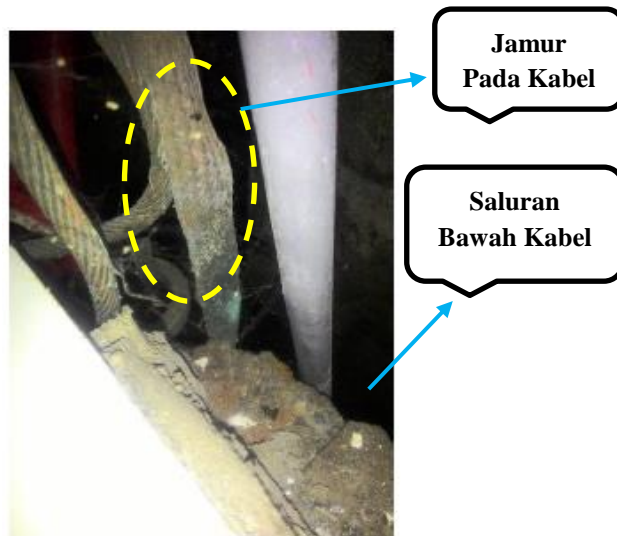
Gambar 2.7 Ventilasi Udara

3. Pada gambar 2.8 ditunjukkan bahwa banyaknya debu di area sekitar instalasi panel *cubicle*.



Gambar 2.8 Debu pada Area Panel *Cubicle*

4. Pola nilai kelembaban yang cukup tinggi pada gardu ini dapat dipengaruhi oleh air. Air dapat masuk kedalam ruangan ini akibat saluran bawah kabel yang masih dibiarkan terbuka. Selain itu, cuaca yang berubah-ubah setiap waktu dapat meningkatkan volume air yang masuk ke dalam saluran bawah kabel yang masuk ke area instalasi panel *cubicle*. Dalam hal ini juga dapat dilihat bahwa pada kabel konduktor tumbuh jamur. Saluran bawah kabel dan kabel konduktornya dapat dilihat pada gambar 2.9 berikut ini :



Gambar 2.9 Saluran Bawah Kabel Tempat Air Masuk ke Area Instalasi Panel *Cubicle*.

Dari data *singe line diagram* sistem eksisting kelistrikan di ITS dan kondisi lingkungan pada gardu yang belum dilakukan penyempurnaan mempunyai beberapa klemahan. Maka, nantinya akan dilakukan studi penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS. Untuk penyempurnaan jaringan 20 kV akan dibahas pada bab selanjutnya.

2.4 Gangguan-gangguan pada Sistem Tenaga Listrik

Pada sistem tenaga listrik dapat timbul suatu gangguan-gangguan yang dapat mengganggu kontinuitas pelayanan daya ke beban. Gangguan pada sistem tenaga listrik dapat terjadi karena sistem abnormal atau kegagalan suatu perangkat, komponen, atau suatu elemen untuk bekerja sesuai dengan fungsinya. Gangguan hampir selalu ditimbulkan oleh hubung singkat antar fase atau hubung singkat fasa ke tanah. Suatu gangguan hampir selalu berupa hubung langsung atau melalui impedansi. Penyebab internal hubung singkat antara lain [1] :

- a. Peralatan rusak
- b. Saluran transmisi putus
- c. Kemunduran isolasi pada transformator, kabel, dan lain-lain
- d. Umur isolasi
- e. Kesalahan instalasi

Sedangkan penyebab eksternal hubung singkat diantaranya adalah :

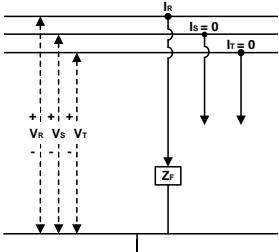
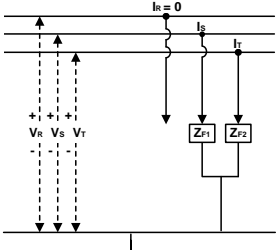
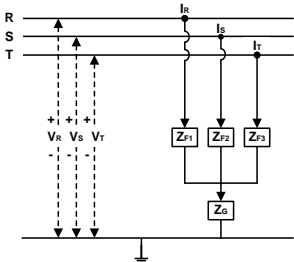
- a. Kegagalan isolasi akibat surja petir
- b. *Overloading* peralatan akibat pemanasan
- c. Kerusakan mekanik karena manusia

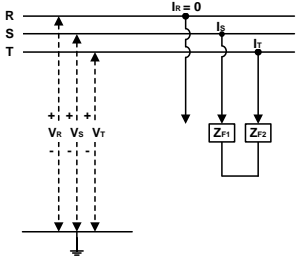
Maka dari itulah, untuk mengatasi gangguan-gangguan yang ada perlu dilakukan analisis hubung singkat sehingga sistem proteksi yang tepat pada sistem tenaga listrik dapat ditentukan. Analisis hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang didalam sistem (di jaringan distribusi, transmisi, trafo tenaga atau dari pembangkit) sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Secara umum Analisis Hubung Singkat memiliki tujuan, yaitu sebagai berikut :

- a. Menentukan arus dan tegangan maximum & minimum pada bagian-bagian / titik-titik tertentu dari suatu sistem tenaga listrik untuk jenis-jenis gangguan yang mungkin terjadi.
- b. Dapat ditentukan setting relay dan koordinasi pengaman untuk mengamankan sistem dari keadaan abnormal dalam waktu yang seminimal mungkin.
- c. Menentukan short circuit capacity (daya hubung singkat dalam MVA) pada setiap bus dan juga daya hubung singkat yang mengalir pada

saluran yang terhubung pada bus tersebut sehingga dapat ditentukan kapasitas alat pemutus daya.

Tabel 2.1 Jenis Gangguan Hubung Singkat [2]

Jenis Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat	Persentase Terjadinya Gangguan Hubung Singkat
Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah		70 %
Gangguan Hubung Singkat Dua Fasa ke Tanah		10%
Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa ke Tanah		5%

Jenis Gangguan Hubung Singkat	Rangkaian Hubung Singkat	Persentase Terjadinya Gangguan Hubung Singkat
Gangguan Hubung Singkat antar Fasa		15 %

2.5 Perhitungan Arus Hubung Singkat

Pada pembahasan sub bab sebelumnya, telah dibahas tentang gangguan hubung singkat, diantaranya macam – macam gangguan hubung singkat, gambar rangkaian sederhana hubung singkat, serta presentase terjadinya hubung singkat. Pada subbab ini akan dibahas mengenai cara perhitungan gangguan hubung singkat.

Perhitungan yang dipergunakan untuk mengetahui arus hubung singkat adalah dengan menggunakan metode impedansi. Hal ini diterapkan untuk membantu saat perhitungan manual, tanpa menggunakan bantuan *software*.

2.5.1 Perhitungan Rangkaian Ekuivalensi dalam Pu

Perhitungan *short circuit* juga dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut [3] :

1. Mengubah semua peralatan listrik dalam bentuk impedansi (pu).
2. Mengubah sistem kelistrikan kedalam rangkaian ekuivalensi sesuai dengan gangguan yang terjadi.
3. Menghitung total impedansi dari rangkaian ekuivalen.
4. Menghitung nilai I_{max} gangguan dan I_{min} gangguan.

Nilai parameter yang diubah kedalam bentuk pu antara lain :

✓ Utility

$$X(\text{pu}) = \frac{MVA_{Base}}{MVA_{sc}} \dots\dots\dots (2.1)$$

✓ Transformator

$$X_T(\Omega) = \frac{KV^2}{MVA} \times Z \% \dots\dots\dots (2.2)$$

$$X_{Base}(\Omega) = \frac{KV^2}{MVA_{Base}} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\text{Maka } X(\text{pu}) = \frac{X_T}{X_{Base}} \dots\dots\dots (2.4)$$

✓ Kabel

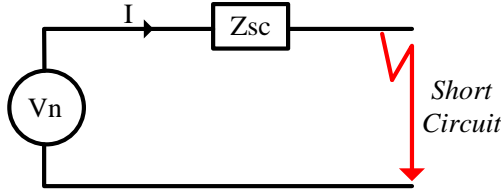
$$X_c(\Omega) = \frac{\sqrt{R^2 + jx^2}}{Jml \text{ konduktor per phasa}} \times \text{panjang} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$X_{Base}(\Omega) = \frac{KV^2}{MVA_{Base}} \dots\dots\dots (2.6)$$

$$\text{Maka } X(\text{pu}) = \frac{X_c}{X_{Base}} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.5.2 Gangguan Hubung Singkat 3 phasa

Perhitungan arus hubung singkat 3 fasa adalah arus hubung singkat yang memiliki nilai terbesar. Arus hubung singkat 3 phasa ini dapat dikatakan sederhana, karena merupakan rangkaian simetris [4]. Dimana arus gangguan dapat dicari dengan menggunakan rangkaian impedansi thevenin [4]. Seperti gambar 2.10 di bawah ini :



Gambar 2.10 Rangkaian Ekivalen *Single Phase* Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa [4]

Arus gangguan hubung singkat 3 fasa dapat dirumuskan sebagai berikut:

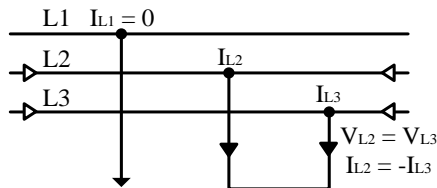
$$I_{sc3ph} = \frac{V_n}{Z_{sc}} \dots\dots\dots (2.8)$$

V_n = Tegangan *line to neutral*

Z_{sc} = Impedansi thevenin pada titik hubung singkat

2.5.3 Gangguan Hubung Singkat 2 fasa

Gangguan hubung singkat 2 fasa adalah gangguan yang presentase terjadinya cukup kecil. Gangguan hubung singkat 2 fasa merupakan gangguan asimetris. Berikut ini adalah rangkaian sederhana gangguan hubung singkat 2 fasa, terlihat pada gambar 2.11 :



Gambar 2.11 Rangkaian Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa [4]

Besarnya arus hubung singkat 2 fasa dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc2ph} = \frac{V_{LL}}{x_1 + x_2} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$I_{sc2ph} = \frac{\sqrt{3} \times V_{LN}}{2 \times x_1} \dots\dots\dots (2.10)$$

$$I_{sc2ph} = \frac{\sqrt{3}}{2} \times I_{sc3ph} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$I_{sc2ph} = 0.866 \times I_{sc3ph} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana :

I_{sc3ph} = Arus hubung singkat 3 fasa

I_{sc2ph} = Arus hubung singkat 2 fasa

V_{LN} = Tegangan *line to netral*

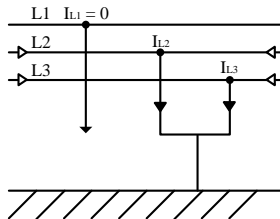
V_{LL} = Tegangan *line to line*

X_1 = Reaktansi urutan positif

X_2 = Reaktansi urutan negatif

2.5.4 Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah merupakan gangguan yang terjadi saat timbul hubung singkat antara 2 fasa ke tanah. Berikut ini adalah rangkaian sederhana gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah, terlihat pada gambar 2.12 :



Gambar 2.12 Rangkaian Gangguan Hubung Singkat 2 Fasa ke Tanah [4]

Besar gangguan hubung singkat 2 fasa ke tanah dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_{sc2ph} = \frac{V_f}{\frac{Z_1 + Z_2 Z_0}{(Z_2 + Z_0)}} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$I_{sc2ph} = V_f \times \frac{(Z_2 + Z_0)}{Z_1 + Z_2 Z_0} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana :

I_{sc2ph} = Arus hubung singkat 2 fasa ketanah

V_f = Tegangan bus saat gangguan

z_1 = Impedansi urutan positif

z_2 = Impedansi urutan negatif

z_0 = Impedansi urutan nol

2.5.5 Gangguan Hubung Singkat 1 Fasa ke Tanah

Pada gangguan ini, reaktansi urutan nol juga diperhitungkan. Hal ini dikarenakan gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah sangat erat kaitannya dengan sistem pentanahan pada sistem kelistrikan tersebut. Sehingga untuk meminimalisir terjadinya gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, perlu adanya sistem pentanahan yang baik. Berikut ini adalah persamaan perhitungan gangguan satu fasa ke tanah :

$$I_{sc1ph} = \frac{3 \times V_n}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana :

- I_{sc1ph} = Arus hubung singkat 1 fasa ke tanah
- V_n = Tegangan *line to netral*
- Z_1 = impedansi urutan positif
- Z_2 = impedansi urutan negatif
- Z_0 = impedansi urutan nol

2.6 Komponen-komponen Sistem Proteksi dan Prinsip Kerjanya

Secara umum, komponen-komponen sistem proteksi beserta prinsip kerjanya terdiri dari:

2.6.1 *Circuit Breaker*, CB (Sakelar Pemutus, PMT)

Circuit Breaker atau Sakelar Pemutus Tenaga (PMT) adalah suatu peralatan pemutus rangkaian listrik pada suatu sistem tenaga listrik, yang mampu untuk membuka dan menutup rangkaian listrik pada semua kondisi, termasuk arus hubung singkat, sesuai dengan ratingnya. Juga pada kondisi tegangan yang normal ataupun tidak normal. *Circuit breaker* bekerja jika ada sinyal dari relay bahwa terdapat gangguan yang melebihi rating interrupt dari yang telah ditentukan.

Kapasitas Pemutusan dari *circuit breaker* dapat ditentukan berdasarkan nilai maksimum dari arus hubung singkat. Selain rating arus dan tegangan, terdapat tiga rating lagi yang menentukan kapasitas suatu pemutus tenaga listrik, yaitu rating *interrupting current*, rating *momentary current*, dan rating daya hubung singkat.

2.6.2 Fuse

Fuse adalah suatu alat pemutus, dimana dengan meleburnya bagian dari komponen yang telah dirancang khusus dan disesuaikan

ukurannya untuk membuka rangkaian dimana pelebur tersebut dipasang dan memutuskan arus bila arus tersebut melebihi suatu nilai dalam waktu tertentu. Oleh karena pelebur ditujukan untuk menghilangkan gangguan permanen, maka pelebur dirancang meleleh pada waktu tertentu pada nilai arus gangguan tertentu. Cara kerja fuse, jika dalam sebuah sistem rangkaian elektronik atau rangkaian listrik terjadi arus lebih maka sekering (fuse) akan putus sehingga arus listrik tidak lagi mengalir dalam sistem tersebut untuk mengamankan peralatan lain.

Letak pemasangan fuse diantaranya :

- Percabangan Jaringan Tegangan Menengah / *branch line*
- Sisi primer trafo pada gardu distribusi tiang

Fuse pengaman pada sisi 20 kV (Tegangan Menengah) berupa fuse cut out (FCO) sedangkan pada sisi tegangan rendah dapat menggunakan NH/NT fuse. Terdapat 3 jenis karakteristik fuse link disertai kemampuan hantar arusnya, sebagai berikut :

- Kemampuan hantar arus terus menerus pelebur (FCO) jenis letupan (*expulsion*), tipe T (lambat), dan tipe K (cepat) ditetapkan :
 - 1.5 kali arus pengenalnya (arus pengenal 6,3 A s.d 100 A)
 - 1.3 kali arus pengenalnya (arus pengenalnya 125 A s.d 160 A)
 - Sama dengan nilai arus pengenalnya (arus pengenal 200 A)
- Pelebur letupan tipe H sama dengan arus pengenalnya

Garis batas ketahanan pelebur bagi trafo distribusi umum berdasarkan SPLN 64 : 1985 ditentukan oleh titik-titik berikut [4] :

2 x I_n selama 100 detik	–	Proteksi arus beban lebih
3 x I_n selama 10 detik	}	Proteksi arus beban peralihan
6 x I_n selama 1 detik		
12 x I_n selama 0,1 detik	}	Proteksi arus <i>Inrush</i> trafo
25 x I_n selama 0,01 detik		

Batas awal ketahanan hubung singkat untuk berbagai ukuran trafo distribusi (menurut SPLN 50 : 1982) adalah sebagai berikut [5] :

Tabel 2.2 Batas awal ketahanan hubung singkat untuk berbagai ukuran trafo distribusi berdasarkan SPLN 50 : 1982

Daya Pengenal Trafo (kVA)	Z (%)	I (x In)	t (detik)
sd. 630	4	25	2
800	4,5	22,22	2,53
1000	5	20	3,125
1250	5,5	18,18	3,78
1600	6	16,67	4,5

Pelebur sisi primer bertugas untuk menjaga batas ketahanan trafo terhadap hubung singkat pada trafo, tetapi tidak meleleh karena arus *inrush* trafo, sedangkan pelebur sisi sekunder bertugas mengamankan trafo dari arus lebih karena gangguan jaringan tegangan rendah, tetapi tidak meleleh karena arus beban peralihan.

Arus pengenal pelebur jenis pembatasan arus menurut berbagai merek dan buatan untuk pengamanan berbagai daya pengenal trafo dapat dilihat pada tabel berikut ini :

2.6.3 Trafo Arus (Current Transformer, CT)

Current transformer (CT) atau Trafo Arus adalah peralatan pada sistem tenaga listrik yang berupa trafo yang digunakan untuk pengukuran arus yang besarnya hingga ratusan ampere dan arus yang mengalir pada jaringan tegangan tinggi. Di samping untuk pengukuran arus, trafo arus juga digunakan untuk pengukuran daya dan energi, pengukuran jarak jauh, dan rele proteksi. Kumparan primer trafo dihubungkan seri dengan rangkaian atau jaringan yang akan diukur arusnya sedangkan kumparan sekunder dihubungkan dengan meter atau dengan rele proteksi.

Trafo arus mempunyai beberapa fungsi, antara lain :

- Memperkecil besaran arus listrik (ampere) pada sistem tenaga listrik menjadi besaran arus untuk sistem pengukuran dan proteksi
- Mengisolasi rangkaian sekunder terhadap rangkaian primer, yaitu memisahkan instalasi pengukuran dan proteksi dari sistem tegangan tinggi.

Rating dari trafo arus ditentukan berdasarkan rasio arus primer dengan arus sekunder. Umumnya rasio trafo arus yang digunakan adalah

(dalam ampere) 600:5, 800:5, 1000:5, 1600:1. Rating arus 5 ampere atau 1 ampere banyak digunakan sebagai standar pada trafo arus. Beberapa rele proteksi menggunakan arus sekunder CT sebagai input masukan seperti rele arus lebih, rele *groundfault*, dan lain-lain.

2.7 Rele Arus Lebih (*Overcurrent Relay*)

Rele arus lebih merupakan rele pengaman yang bekerja saat ada arus yang melebihi dari nilai yang ditetapkan. Prinsip kerja rele arus lebih ini adalah berdasarkan besar arus yang masuk pada rele. Apabila arus yang masuk melebihi batas arus yang diatur (I_p) maka rele tersebut *sensing* dan mengirimkan sinyal ke CB untuk *open*. I_p adalah arus kerja yang besarnya ditentukan dari sisi sekunder *current transformer* (CT). Apabila gangguan terjadi pada daerah proteksi, maka arus gangguan (I_f) besarnya juga dinyatakan menurut sisi sekunder *current transformer* (CT). Rele harus memiliki waktu tunda (*time delay*) yang tepat, selektivitas pada saat *trip*, dan juga konsisten dengan beban listrik yang diamankan. Prinsip kerja dari rele *overcurrent* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$I_f > I_p$ rele bekerja (*sensing* dan memerintahkan CB untuk *open*)

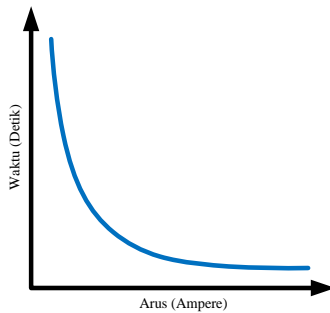
$I_f < I_p$ rele tidak bekerja (blok)

Untuk koordinasi waktu pada rele *overcurrent* analog berdasarkan IEEE 242 untuk perbedaan waktu minimum antara 0,3 s/d 0,4 detik, sedangkan untuk rele *overcurrent* digital berbasis mikroprosesor antara 0,2 s/d 0,3 detik [6].

2.7.1 Rele *Overcurrent Invers Time* (Waktu Terbalik)

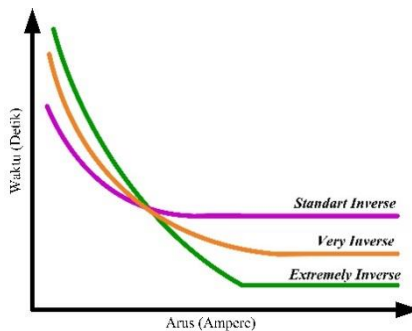
Rele arus lebih dengan waktu *setting*, *invers time* atau waktu terbalik memiliki waktu kerja yang berbanding terbalik dengan besar dari arus gangguan. Apabila arus gangguannya kecil, maka waktu yang dibutuhkan untuk rele bekerja semakin lama, dan sebaliknya apabila arus gangguan semakin besar, maka waktu operasi rele pun akan semakin cepat [6].

Berikut ini adalah gambar 2.13 mengenai karakteristik dari rele arus lebih dengan waktu *invers* :



Gambar 2.13 Karakteristik Rele *Overcurrent Invers Time*

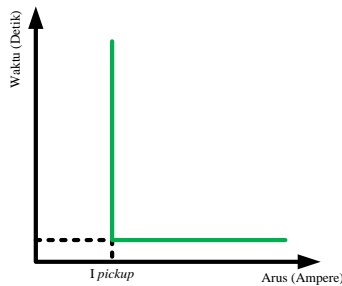
Ada berbagai macam karakteristik waktu *invers* dari rele arus lebih, yaitu *very invers*, *extremely invers*, dan *standart inverse* [6]. Seperti yang terlihat pada gambar 2.14 di bawah ini :



Gambar 2.14 Karakteristik *Very Inverse*, *Standart Inverse*, *Extremely Inverse* Lingkungan

2.7.2 Rele *Overcurrent Instantaneous Time*

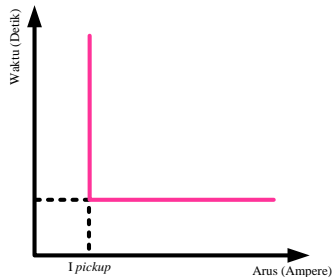
Rele arus lebih dengan waktu instan atau seketika adalah rele yang bekerja tanpa adanya waktu tunda [7]. Rele ini bekerja berdasarkan arus gangguan hubung singkat yang *disetting*, dimana CB akan bekerja dalam waktu 0.08 s [3]. Berikut ini adalah karakteristik rele *overcurrent instantaneous*, terlihat pada gambar 2.15 di bawah ini :



Gambar 2.15 Karakteristik Rele *Overcurrent Instantaneous*

2.7.3 Rele *Overcurrent Definite Time*

Pada rele arus lebih waktu tertentu dapat diatur waktu operasi rele bervariasi tergantung dengan *setting* yang diinginkan namun tetap berdasarkan *level* arus yang berbeda. Dengan hal tersebut, rele arus lebih waktu tertentu ini dapat mengisolasi gangguan yang paling dekat dengan cepat sesuai dengan *setting* dari *time delay* nya. Dan semua *level* arus yang melebihi dari arus *pick up* nya akan diisolir dalam waktu yang sama. Berikut ini adalah gambar 2.16 karakteristik dari rele arus lebih *definite time* :

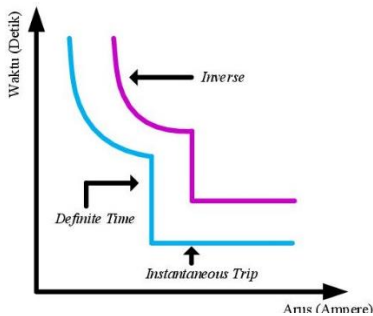


Gambar 2.16 Karakteristik Rele *Overcurrent Definite Time*

2.7.4 Rele *Overcurrent Invers Definite Minimum Time*

Rele arus lebih waktu *invers* ini bekerja apabila terdapat arus yang melebihi arus yang telah ditentukan (daerah *invers*). Kemudian rele arus lebih *definite time* ini bekerja pada saat gangguan hubung singkat minimum sesuai dengan *setting* dari *time delay* [6]. Pada gambar 2.17 di

bawah ini merupakan karakteristik rele *overcurrent Invers Definite Minimum Time*:



Gambar 2.17 Karakteristik Rele *Overcurrent Invers Definite Minimum Time*

2.8 Rele *Groundfault*

Gangguan satu fasa ke tanah dan juga gangguan dua fasa ketanah adalah gangguan yang sering muncul pada rele *Ground Fault*.. Maka dari itulah diperlukan rele *groundfault* untuk mengamankan kedua gangguan tersebut. Prinsip kerja dari rele *groundfault* adalah dengan cara membatasi arus gangguan tanah. Rele *groundfault* merupakan rele yang dilengkapi dengan *zero sequence current filter* [3].

Setting rele gangguan ke tanah adalah sebagai berikut :

$$5\text{--}10\% \times I_{sc\ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% I_{sc\ L-G} \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana *I_{sc L-G}* adalah arus hubung singkat satu fasa ke tanah.

2.9 *Setting Rele Overcurrent Inverse Time*

Pada *setting* rele arus lebih waktu *inverse*, variabel yang dapat *disetting* adalah arus *pickup* dan juga *time dial* nya. Pada *setting* arus *pickup*, besar *setting* arus harus lebih besar daripada arus beban maksimum peralatan yang diamankan. Hal ini dikarenakan rele arus lebih waktu *inverse* tidak boleh beroperasi pada saat arus beban maksimum. Sehingga *setting* arusnya harus lebih besar daripada beban maksimum. Menurut *Standard British BS 142*, batas *setting* rele arus lebih waktu *inverse* (faktor pengali untuk *setting*) adalah :

$$1.05\ I_{FL} < I_{set} < 1,3\ I_{FL} \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana I_{set} merupakan besar arus *pickup* (Ampere) dan I_{FL} adalah arus *full load* atau arus beban penuh dari peralatan yang akan diamankan ketika beroperasi (Ampere). Besar dari arus *pick up* ditentukan berdasarkan pemilihan *tap*. Dan nilai *tap* sendiri, dapat dicari dengan persamaan berikut :

$$Tap = \frac{I_{pick\ up}}{Arus\ primer\ CT} \dots\dots\dots (2.18)$$

Setelah *mensetting* arus *pick up*, langkah selanjutnya adalah *menyetting time dial*. *Setting time dial* ini diperlukan untuk menentukan kapan rele arus lebih yang dipergunakan akan bekerja. Berikut ini adalah rumus yang dipergunakan untuk menentukan *time dial* dari rele arus lebih waktu *invers* :

2.9.1 Schneider Electric Sepam Series 40 dan Series 20 menggunakan standart IEC [8][9]

$$Td(l) = \frac{A}{(\frac{I}{I_s})^p - 1} \times TMS \dots\dots\dots (2.19)$$

Berikut ini adalah konstanta *setting time dial* rele Sepam Series 10, dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini :

Tabel 2.3 Konstanta *Setting Time Dial* Rele Sepam Series 40 dan 20

Tipe Kurva Inverse	Konstanta	
	A	p
IEC Standard Inverse Time SIT/A	0.14	0.02
IEC Very Inverse Time VIT/B	13.5	1
IEC Long Time Inverse LTI/B	120	1
IEC Extremely Inverse Time EIT/C	80	2

Keterangan :

- Td(l) = Trip time (second)
- TMS = Time Multiplying Setting (Time Dial)
- I = Arus hubung singkat maksimum
- I_s = Arus setting (*pickup*)

2.10 Koordinasi Rele Berdasarkan Arus dan Waktu

Pada sistem tenaga listrik, semua peralatan pengaman harus saling terkoordinasi dengan baik agar sistem kelistrikan yang diproteksi menjadi aman. Koordinasi rele yang dimaksud adalah adanya ketepatan CB dalam bekerja, antara CB utama dengan CB yang lain sebagai *backup*nya. Sehingga ketika terjadi gangguan di suatu bus atau suatu beban, tidak akan menyebabkan CB bekerja secara bersamaan dan kemungkinan terburuk berakibat seluruh sistem kelistrikan menjadi *blackout*. Untuk mencegah hal tersebut terjadi, maka diperlukan adanya waktu tunda atau *time delay* dalam pengaturan setiap CB yang dipergunakan.

Waktu kerja antara rele utama dengan rele *backup* nya harus berjarak 0,2 – 0,4 detik [6]. Dengan spesifikasi sebagai berikut :

Waktu CB terbuka : 0,04 – 0,1 *second* (2 – 5 *cycle*)

2.11 Standar Rekomendasi dalam Pemasangan *Switchgear*

Untuk mengetahui apakah *switchgear* yang telah terpasang telah bekerja dengan baik sesuai dengan kondisi lingkungan yang ada, maka harus diperhatikan standar pemasangannya. Dalam hal ini, standar yang digunakan dalam pemasangan *switchgear* adalah *Schneider Medium Voltage Guide* dan *Electrical Installation Guide Schneider Electric* 2016. [5]

2.11.1 Standar Kondisi Operasi *Switchgear* [5]

Berikut adalah standar operasi kondisi *switchgear* yang ditinjau dari temperatur berdasarkan standar IEC dan ANSI yang diambil dari *Schneider Medium Voltage Desain Guide* :

Tabel 2.4 Standar Temperatur Operasi *Switchgear*

Standar	0°C ambient instantaneous	Instalasi Indoor	Outdoor
IEC	Minimal	-5°C	-25°C
	Maksimal	+ 40°C	+ 40°C
	Rata-rata maksimum harian	35°C	35°C
ANSI	Minimal	-30°C	-
	Maksimal	+40°C	-

Tabel 2.5 Standar Kelembaban Operasi *Switchgear*

<i>Average Relative Humidity Value Over a Period</i>	<i>Indoord Equipment</i>
<i>24 Hours</i>	95 %
<i>1 Month</i>	90 %

BAB III

PENYEMPURNAAN JARINGAN 20 KV DI ITS DAN PERANCANGAN DATA LOGGER

3.1 Penyempurnaan Jaringan 20 kV

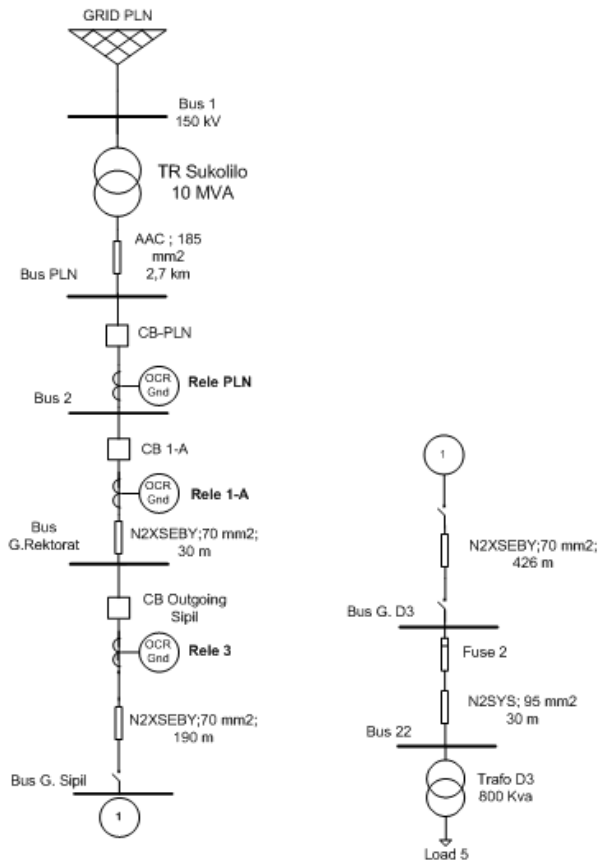
Penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS meliputi dua aspek. Pertama aspek penyempurnaan sistem kelistrikannya, yang meliputi pergantian peralatan pengaman kelistrikannya dan yang kedua aspek penyempurnaan kondisi lingkungan pada gardu listrik yang meliputi perbaikan kondisi bangunan pada gardu, serta penambahan peralatan yang mampu mengontrol suhu dan kelembaban pada gardu listrik. Pada aspek pertama, pergantian peralatan pengaman pada sistem kelistrikan di ITS dimaksudkan agar koordinasi peralatan pengaman dapat diperbaiki. Namun, sebelumnya peralatan pengaman pada sistem eksisting kelistrikan di ITS akan dilakukan analisa terlebih dahulu. Untuk perhitungan secara manual dan simulasi sistem kelistrikan ITS baik dalam sistem eksisting maupun perbaikannya dapat dilihat pada bab selanjutnya. Pada bab ini akan dijelaskan penyempurnaan jaringan 20 kV pada dua aspek tersebut tanpa dilihat dari segi perhitungan secara manual maupun simulasi. Sedangkan penyempurnaan jaringan 20 kV pada aspek yang kedua, akan diperlihatkan perbaikan kondisi lingkungan pada gardu listrik yang sudah dilakukan oleh pihak ITS, meliputi perbaikan kondisi bangunan pada gardu listrik dan penambahan peralatan yang dapat mengontrol suhu dan kelembabannya.

3.1.1 Peralatan Pengaman Kelistrikan di ITS

Peralatan pengaman kelistrikan di ITS ditunjukkan pada *single line diagram* sistem kelistrikan ITS pada gambar A-5 bagian lampiran. Untuk memudahkan dalam melakukan analisa peralatan pengaman kelistrikan ini, dapat dilakukan dengan membagi sistem kelistrikan di ITS dalam dua *case*. *Case 1* dimulai dari *load 5* hingga menuju peralatan pengaman PLN yaitu *circuit breaker* CB 1-A. Sedangkan *case 2* dimulai dari *load 4* hingga menuju peralatan pengaman PLN juga yaitu *circuit breaker* CB 1-A. Nantinya, dari kedua *case* ini akan diketahui peralatan pengaman mana yang perlu diganti sesuai dengan fungsi dan kerja dari peralatan itu sendiri.

3.1.1.1 Peralatan pengaman pada Case 1

Pada single line *eksisting case 1* ini, perlu adanya pergantian peralatan pengaman, yaitu *Load Breaking Switch* pada *outgoing* gardu sipil. Hal ini diakibatkan apabila ada gangguan antara *outgoing* gardu sipil dan *incoming* gardu D3, maka rele 3 akan bekerja dan menyebabkan gardu sipil dan gardu D3 akan *trip*. Analisanya adalah sebagai berikut :

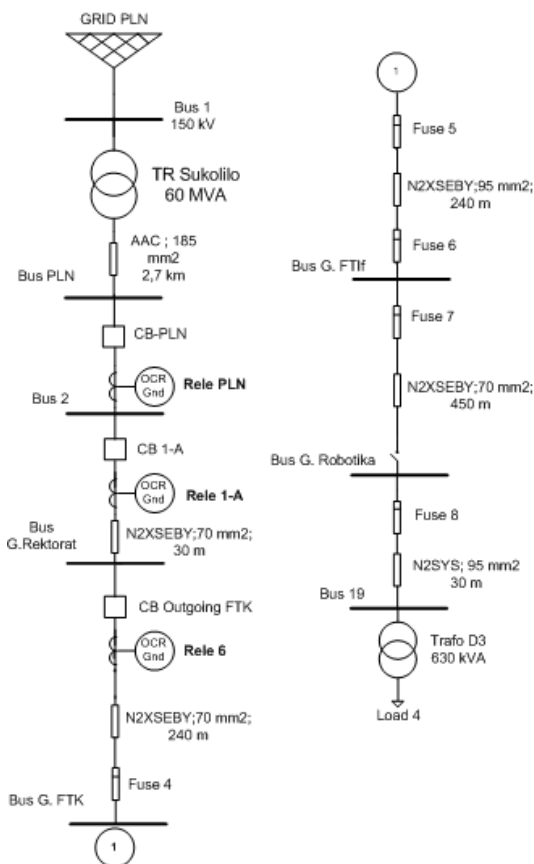


Gambar 3.1 Peralatan Pengaman pada Eksisting Case 1

1. Saat *Load Breaking Switch* pada *outgoing* gardu sipil diganti dengan *circuit breaker*, maka apabila ada gangguan hubung singkat pada saluran distribusi antara gardu sipil dan gardu D3, maka *circuit breaker* pada *outgoing* gardu sipil akan bekerja (*Open*). Sehingga gardu sipil tetap dapat teraliri listrik, dan pada gardu D3 akan trip.
2. Peristiwa tripnya gardu D3 tidak berlangsung lama, karena saat *circuit breaker* pada *outgoing* gardu sipil di-*Normally close* kembali, maka aliran listrik akan mengalir kembali ke gardu D3 sehingga gardu D3 dapat berfungsi kembali.
3. Pemilihan *circuit breaker* ini didasarkan pada keekonomisan peralatan dan koordinasi dengan rele pengaman (*overcurrent* dan *groundfault*), dimana apabila digunakan *fuse*, dan gangguan hubung singkat terjadi beberapa kali, maka *fuse* perlu diganti beberapa kali pula. Dan juga pihak ITS perlu menyediakan *fuse* cadangan untuk mengantisipasi bila terjadi gangguan hubung singkat. *Fuse* juga tidak dapat dikoordinasikan dengan rele sebagai *sensing* terhadap gangguan *overcurrent* dan *groundfault*. Sedangkan koordinasi dengan rele pengaman ini diperlukan karena nantinya yang men-*sensing* gangguan hubung singkat adalah rele, kemudian rele mengirimkan sinyal ke *circuit breaker* agar bekerja.
4. Pergantian *fuse* juga memerlukan waktu yang lebih lama bila dibandingkan dengan meng- *Normally close* kembali *circuit breaker*, sehingga bila menggunakan *fuse* pada *outgoing* gardu sipil, maka gardu D3 akan trip lebih lama.
5. Perlu ditambahkan rele *overload* pada sisi primer trafo gardu D3. Dengan penambahan rele *overload* pada sisi primer trafo, beban peralatan yang ada di sisi sekunder trafo gardu D3 dapat diamankan dan terhindar dari kerusakan akibat beban lebih (*overload*). Nantinya rele *overload* ini bekerja dan men-*normally open* *Load Breaking Switch* (LBS) pada sisi *incoming* gardu D3. Sehingga saat terjadi gangguan *overload*, LBS ini akan memutus aliran arus yang menuju Load 5.

3.1.1.2 Peralatan pengaman pada Case 2

Pada penyempurnaan peralatan pengaman *case 2* ini juga dapat dilihat adanya penggunaan peralatan pengaman yang kurang tepat. Sama seperti *case 1*, selain penggunaan peralatan pengaman yang kurang tepat, juga perlu adanya penambahan peralatan pengaman. Analisa penyempurnaan peralatan pengaman pada *case 2* ini dapat dijelaskan pada penjelasan berikut ini :



Gambar 3.2 Peralatan Pengaman pada Eksisting *Case 2*

Kesalahan peralatan pengaman pada *case 2* ini terletak pada penggunaan *fuse 7*, *fuse 6*, *fuse 5*, dan *fuse 4*.

1. Perhatikan pada sisi *outgoing* gardu Rektorat menuju *incoming* gardu Fakultas Teknologi Kelautan berupa *fuse 4* dan *outgoing* pada gardu Fakultas Teknologi kelautan menuju gardu FTIf berupa *fuse 5*, apabila terjadi gangguan hubung singkat pada saluran distribusi antara gardu FTK dengan gardu FTIf, maka *fuse 5* akan bekerja. Untuk melakukan proses perbaikan pada *fuse 5*, maka seluruh sistem kelistrikan pada gardu FTK, gardu FTIf, gardu robotika, gardu D3 dan gardu rektorat harus *trip*. Hal ini harus dilakukan karena proses *pergantian fuse 5* harus dalam kondisi tidak bertegangan.
2. Pada sisi *incoming* gardu FTIf berupa *fuse 6* dan *outgoing* gardu FTIf berupa *fuse 7*, apabila terjadi gangguan hubung singkat pada saluran distribusi antara gardu FTIf dengan gardu robotika, maka *fuse 7* akan *trip*. Karena penggunaan *fuse 6* pada sisi *incoming* gardu FTIf, tidak dapat dilakukan proses perbaikan dan penggantian *fuse 7* yang telah bekerja dalam mengamankan gangguan hubung singkat. Untuk melakukan perbaikan pada *fuse 7*, maka seluruh sistem harus *trip* terlebih dahulu. Sama seperti pada poin yang pertama, *pergantian fuse 7* harus dalam kondisi tidak bertegangan.

Untuk mengatasi kesalahan pemasangan peralatan pengaman pada kedua poin diatas, analisisnya adalah sebagai berikut :

1. Saat *fuse 4* pada *incoming* gardu FTK diganti dengan *load breaking switch*, dan peralatan pengaman *fuse 5* yang terdapat pada *outgoing* gardu FTK menuju gardu FTIf diganti dengan *circuit breaker*, maka apabila terjadi gangguan hubung singkat pada saluran distribusi antara gardu FTK dengan gardu FTIf, maka *circuit breaker* pada *outgoing* gardu FTK akan bekerja (*open*). Sehingga gardu rektorat tetap dapat teraliri listrik. Sedangkan gardu FTK, gardu FTIf, dan gardu robotika akan *trip*.
2. Peristiwa *tripnya* gardu FTK, gardu FTIf, dan gardu robotika tidak akan berlangsung lama karena saat *circuit breaker* pada *outgoing* gardu FTK di-*Normally close* kembali, maka aliran listrik akan mengalir kembali ke ketiga gardu tersebut sehingga ketiga gardu itu dapat berfungsi kembali.

3. Pemilihan *load breaking switch* pada *incoming* gardu FTK didasarkan pada pengkoordinasian peralatan pengaman setelah gardu FTK. Apabila sewaktu-waktu terjadi gangguan hubung singkat pada *outgoing* gardu FTIf dengan gardu robotika atau terjadi gangguan hubung singkat pada *main ditribution panel* gardu FTK, maka *load breaking swicth* akan dioperasikan *open*, sehingga memudahkan dalam proses perbaikan.
4. Saat *fuse* 6 pada *incoming* gardu FTIf diganti dengan *load breaking switch*, dan peralatan pengaman *fuse* 7 yang terdapat pada *outgoing* gardu FTIf menuju gardu FTIf diganti dengan *circuit breaker*, maka apabila terjadi gangguan hubung singkat pada saluran distribusi antara gardu FTIf dengan gardu robotika, maka *circuit breaker* pada *outgoing* gardu FTIf akan bekerja (*open*). Sehingga gardu rektorat tetap dapat teraliri listrik. Sedangkan gardu FTK, gardu FTIf, dan gardu robotika akan trip.
5. Peristiwa tripnya gardu FTIf, dan gardu robotika tidak akan berlangsung lama karena saat *ciricuit breaker* pada *outgoing* gardu FTIf di-*Normally close* kembali, maka aliran listrik akan mengalir kembali ke kedua gardu tersebut sehingga kedua gardu itu dapat berfungsi kembali.
6. Pemilihan *load breaking switch* pada *incoming* gardu FTK dan gardu FTIf didasarkan pada pengkoordinasian peralatan pengaman setelah gardu FTK dan FTIf itu sendiri. Apabila sewaktu-waktu terjadi gangguan hubung singkat baik itu pada saluran distribusi pada *outgoing* gardu FTK dengan gardu FTIf atau saluran distribusi pada gardu FTIf, maka *load breaking swicth* pada masing-masing *incoming* gardu FTK dan FTIf akan dioperasikan *open*, sehingga memudahkan dalam proses perbaikan.
7. Pemilihan *circuit breaker* pada *outgoing* gardu FTK didasarkan pada keekonomisan peralatan dan koordinasi dengan rele pengaman. *Fuse* juga tidak dapat dikoordinasikan dengan rele sebagai *sensing* terhadap gangguan *overcurrent* dan *groundfault*. Sedangkan koordinasi dengan rele pengaman ini diperlukan karena nantinya yang men-*sensing* gangguan hubung singkat adalah rele, kemudian rele mengirimkan sinyal ke *circuit breaker* agar bekerja.

3.1.2 Penyempurnaan Kondisi Lingkungan pada Gardu Listrik

Penyempurnaan kondisi lingkungan pada gardu listrik ini bertujuan agar segala sesuatu yang dapat menyebabkan *tripnya* peralatan pengaman akibat tumbuhnya jamur pada konduktor kabel, banyaknya debu disekitar panel *cubicle*, dan lain-lainnya dapat dihindari. Penyempurnaan kondisi ini meliputi struktur bangunan, penambahan *air conditioner*, dan penutupan saluran bawah kabel. Berikut penjelasan lebih rinci mengenai penyempurnaan kondisi lingkungan pada gardu listrik :

1. Pemasangan transformator distribusi pada gardu ini diletakkan di area yang terpisah dengan instalasi panel *cubicle*. Antara kedua area ini saling berdekatan namun diletakkan pada bangunan yang berbeda, terpisahkan oleh sekat bangunan yang berada di antara sisi transformator distribusi dan area instalasi panel *cubicle*. Hal ini berpengaruh terhadap temperatur lingkungan area instalasi *cubicle* dimana temperatur kerja dari transformator distribusi tidak berdampak secara langsung terhadap kondisi temperatur di area instalasi panel *cubicle*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut ini :



Gambar 3.3 Area Transformator dan Instalasi Panel *Cubicle* yang Dipisahkan oleh Sekat Bangunan

2. Pada gambar 3.4, area instalasi panel *cubicle* gardu ini telah dilengkapi dengan dua buah *air conditioner*. *Air conditioner* ini akan berguna untuk mempertahankan nilai temperatur pada lingkungan *indoor* gardu tersebut. Dengan adanya *air conditioner* ini perubahan kondisi cuaca yang dapat terjadi sewaktu-waktu tidak akan berpengaruh terhadap nilai temperatur gardu itu sendiri.



Gambar 3.4 *Air Conditioner* yang Berada pada Area Instalasi Panel *Cubicle*

3. Ventilasi udara di ruangan ini tidak banyak debu sehingga memiliki sirkulasi udara yang baik. Selain itu, ventilasinya juga menghadap ke area luar yang terbuka, tidak dikelilingi oleh bangunan yang lain. Udara yang masuk tidak terhalang oleh debu, dan dengan adanya *air conditioner* tingkat banyaknya debu yang ada di area instalasi panel *cubicle* dapat berkurang, karena *air conditioner* mengambil udara yang ada di dalam ruangan kemudian mengembilkan udara itu kembali menjadi lebih bersih dan lebih segar. Keterangan lebih lanjut dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut ini :



Gambar 3.5 Ventilasi Udara

4. Area instalasi panel *cubicle* pada gardu ini tidak tampak adanya debu dan tidak nampak adanya saluran bawah kabel. Dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut ini :



Gambar 3.6 Area Instalasi Panel *Cubicle*

3.2 Data Peralatan Kelistrikan di ITS

Berikut merupakan data peralatan yang ada pada sistem kelistrikan di ITS. Data ini meliputi jenis peralatan dan rating peralatan yang digunakan.

Tabel 3.1 Peralatan Eksisting Sistem Kelistrikan ITS

No	Instalasi	Peralatan	Fungsi
1.	Pengaman PLN	<i>Cubicle</i>	CB PLN
2.	Gardu <i>Central Substation</i> (Rektorat)	<i>Cubicle</i> <i>Cubicle</i> <i>Cubicle</i> <i>Cubicle</i>	CB Incoming PLN CB Outgoing G. Sipil CB Outgoing G. Rektorat CB Outgoing G. FTK
3.	Gardu Sub station Teknik Sipil	LBS <i>Fuse</i> 1 LBS	<i>Incoming</i> dari G. Rektorat <i>Outgoing</i> ke Trafo <i>Outgoing</i> ke G. D3
4.	Gardu Sub Station D3	LBS <i>Fuse</i>	<i>Incoming</i> G. Sipil <i>Outgoing</i> ke Trafo
5.	Gardu Sub Station FTK (Kelautan)	<i>Fuse</i> <i>Fuse</i> 3 <i>Fuse</i> 5	<i>Incoming</i> G. Rektorat <i>Outgoing</i> ke Trafo <i>Outgoing</i> ke G. FTif
6.	Gardu Sub station (FTif)	<i>Fuse</i> 6 <i>Fuse</i> 7	<i>Incoming</i> dari G. Kelautan <i>Outgoing</i> ke G. Robotika
7.	Gardu Sub Station Robotika	<i>Cubicle</i> LBS <i>Fuse</i> 8	<i>Incoming</i> dari G. FTif <i>Outgoing</i> ke Trafo

3.3 Data Transformator

Data transformator ini merupakan data dari spesifikasi trasnformator distribusi yang menurunkan rating tegangan 20 kV/4kV pada masing-masing beban di gardu kelistrikan ITS. Berikut adalah data transformator distribusi yang ada pada sistem kelistrikan ITS :\\

Tabel 3.2 Data Transformator

No.	Instalasi	Daya Transformator
1.	Gardu Sub Station Rektorat	800 kVA
2.	Gardu Sub station Teknik Sipil	800 kVA
3.	Gardu Sub station D3	800 kVA
4.	Gardu Sub station Kelautan (FTK)	800 kVA
5.	Gardu Sub station Robotika	630 kVA

3.4 Data Beban

Beban-beban listrik yang adadi PT. Petrokimia Gresik terdiri dari beban *statis* yang rating dari masing-masing beban tertera pada table 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Data Beban

No	Instalasi	Bus	Tegangan	KVA
1.	Gardu Rektorat	G.Rektorat	20 kV	560
2.	Gardu Sipil	G.Sipil	20 kV	560
3.	Gardu D3	G. D3	20 kV	560
4.	Gardu Robotika	G. Robotika	20 kV	441

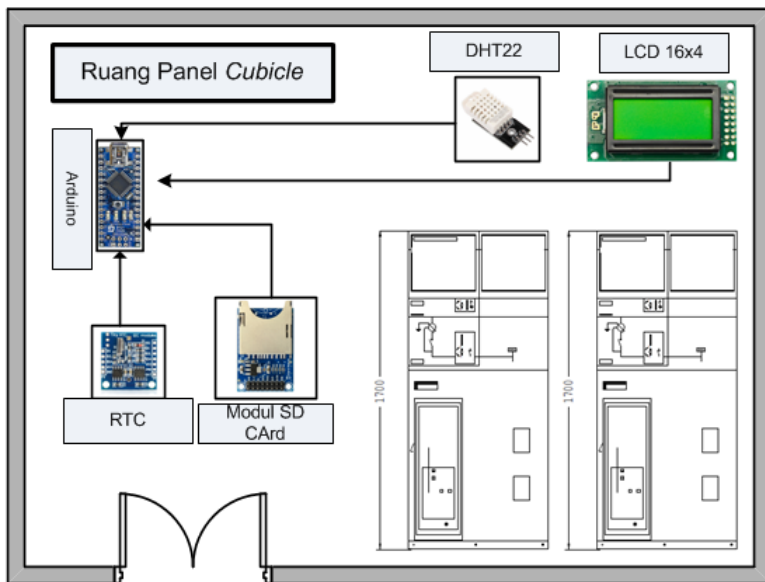
3.5 Perancangan dan Pembuatan Alat *Data Logger*

Pada bab ini akan dibahas mengenai tahapan-tahapan yang dilakukan penulis dalam pembuatan dan perancangan alat. Penjelasan diawali dengan penjelasan *block* fungsional sistem secara keseluruhan, kemudian perancangan perangkat keras dan diakhiri perancangan perangkat lunak. Adapun perancangan perangkat keras dilakukan pada perancangan elektronik. Detail mengenai pembahasan perancangan alat akan dibahas pada beberapa sub bab berikut.

3.5.1 Prinsip Kerja Alat

Secara umum rancangan alat pada tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.7. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa sensor kelembaban dan temperatur DHT22 akan mengukur kondisi

kelembaban dan temperatur lingkungan *switchgear*. Lingkungan *switchgear* yang terpasang terletak pada kondisi didalam ruangan (*indoor*). Sensor tersebut dikoneksikan dengan mikrokontroller. Mikrokontroller bertindak sebagai master yang membaca dan melakukan perintah penyimpanan ke modul SD card yang tersedia untuk menyimpan data setiap menitnya mengenai kondisi kelembaban dan temperatur lingkungan *switchgear*. Selain itu untuk memastikan penyimpanan data dilakukan setiap menit, *Real Time Clock* (RTC) akan menghitung waktu setiap menitnya, sehingga data yang tersimpan didalam modul SD card dapat direkam setiap menitnya secara akurat. Penjelesan sistem dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 3.7 Diagram Fungsional dari Prinsip Alat

3.5.2 Perancangan Perangkat Elektronik (*Hardware*)

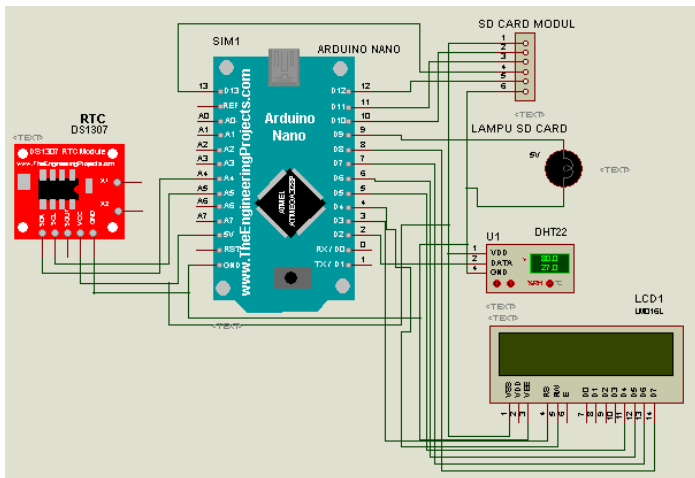
Perancangan *hardware* yang akan dibahas terdiri dari perancangan perancangan mikrokontroler, perancangan rangkaian

sensor DHT22, perancangan rangkaian RTC dan perancangan modul SD card.

3.5.3 Perancangan Mikrokontroler

Pada sub bab ini akan dijelaskan mengenai rancangan mikrokontroler yang digunakan pada pembuatan alat tugas akhir. Mikrokontroler yang digunakan merupakan mikrokontroler yang telah dikemas menjadi sebuah modul, yakni Arduino Nano 328P.

Mikrokontroler dalam pembuatan alat ini dirangkai dengan sensor DHT 22, modul SD card dan juga RTC. Sensor DHT 22 berfungsi sebagai pengukur temperatur dan kelembaban. Sedangkan RTC dan Modul SD card berfungsi sebagai *data logger* yaitu sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen di dalamnya maupun eksternal sensor dan instrumen. Atau secara singkat *data logger* adalah alat untuk melakukan data logging. Sistem *data logger* ini dibangun dari arduino sebagai pengendalinya dan menggunakan *Micro SD* sebagai media simpannya. Gambar rangkaian dari mikrokontroler, sensor kelembaban dan temperatur DHT22, RTC dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rancangan Rangkaian Mikrokontroler

3.5.4 Perancangan Rangkaian Sensor DHT22

Pada perancangan rangkaian sensor kami menggunakan sensor kelembaban dan temperatur DHT 22. Sensor ini memiliki range pengukuran temperatur dari nilai -40°C s/d 80°C dan persen kelembaban dari nilai 0% S/D 100% RH. Dengan tingkat keakurasian kelembaban $\pm 2\%$ RH dan temperatur sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Nano 328P, sehingga hasil pembacaan sensor DHT22 diolah terlebih dahulu oleh mikrokontroler untuk selanjutnya disimpan pada modul SD card. Kalibrasi dilakukan agar nilai sensor yang ditampilkan sesuai dengan kondisi lingkungan sensor tersebut ditempatkan. Setelah dilakukan kalibrasi, nilai *output* sensor yang telah diolah oleh mikrokontroler akan disimpan pada modul SD card. Rancangan sensor dan mikrokontroler dapat dilihat pada Gambar 3.8.

Sensor DHT22 memiliki memiliki dua jenis performasi yakni performasi kelembaban yang tertera pada tabel 3.4 dan performasi temperatur yang dapat dilihat pada tabel 3.5. Data performasi sensor ini sangat berperan penting dalam pembuatan rangkaian sensor. Digunakan untuk analisa pengukuran ketelitian sensor.

Tabel 3.4 Performasi Kelembaban Relatif DHT22

Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Resolution			0,1		%RH
Range				99,9	%RH
Accuracy	25°C		± 2		%RH
Repeatability			$\pm 0,3$		%RH
Exchange	<i>Completely interchangeable</i>				
Response	$1/e(63\%)$		< 5		Sec
Sluggish			$< 0,3$		%RH
Drift (long term stability)	<i>typical</i>		$< 0,5$		%RH/yr

Tabel 3.5 Performasi Temperatur Relatif DHT22

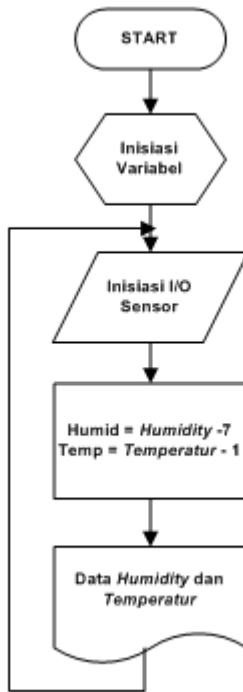
Parameter	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Resolution			0,1		⁰ C
Range		-40		80	Bit
Accuracy			± 0,5		⁰ C
Repeatability			± 0,2		⁰ C
Exchange	<i>Completely interchangeable</i>				
Response	1/e(63%)		< 10		Sec
Drift (long term stability)	<i>typical</i>		± 0,3		⁰ C /yr

3.5 Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak dalam pembuatan tugas akhir ini menggunakan aplikasi *software arduino* IDE untuk mengolah data pada mikrokontroler. Hal-hal yang akan dibahas dalam perancangan perangkat lunak ini adalah perancangan pembacaan sensor DHT22 dan perancangan *data logger*.

3.5.1 Perancangan Pembacaan Sensor DHT22

Sensor DHT22 di baca oleh mikrokontroler, pengolahan nilai kelembaban dan temperatur disesuaikan dengan program yang dibuat. Pembuatan program menggunakan aplikasi *software Arduino* IDE. Gambar 3.9 merupakan *flowchart* pembacaan sensor oleh mikrokontroler.



Gambar 3.9 *Flowchart* Pembacaan Sensor

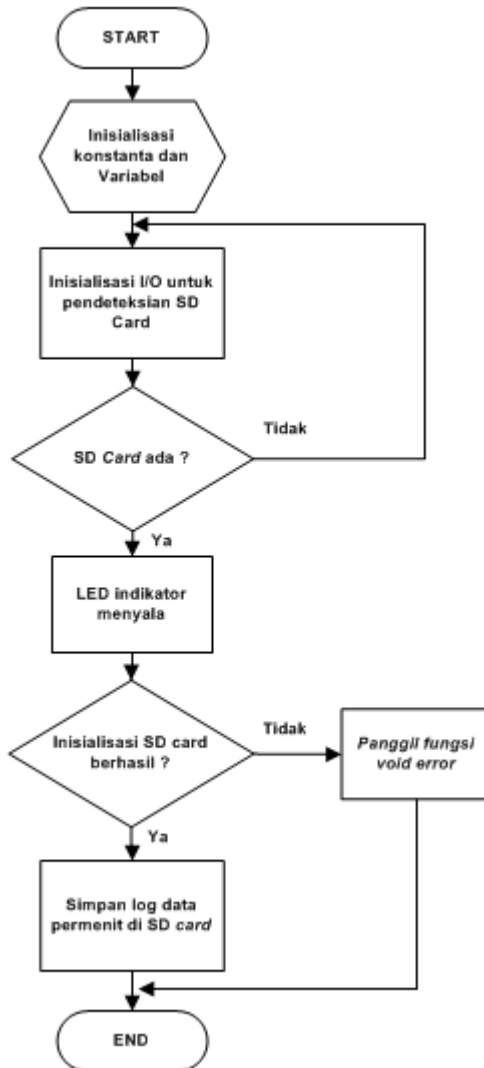
Dari gambar 3.9 penjelasan algoritma dari perancangan perangkat lunak (*software*) pembacaan sensor adalah :

1. Arduino Nano 328P aktif melakukan inialisasi variabel data sensor temperatur dan kelembaban.
2. Menginisiasi I/O dan pembacaan sensor.
3. Diperoleh data sensor temperatur dan kelembaban.

3.5.2 Perancangan *Data Logger*

Data logger adalah sebuah alat elektronik yang mencatat data dari waktu ke waktu baik yang terintegrasi dengan sensor dan instrumen di dalamnya maupun eksternal. Biasanya ukuran fisiknya kecil, bertenaga baterai, portabel, dan dilengkapi dengan mikroprosesor, memori internal untuk menyimpan data dan sensor. *Data logger* dalam alat ini digunakan untuk mencatat nilai kelembaban dan temperatur

lingkungan *switchgear* dan disimpan dalam *SD card* setiap satu menit sekali. Berikut ini adalah *flowcart* dari pembuatan *data logger*.



Gambar 3.10 *Flowchart Data Logger*

Dari Gambar 3.10, jelaskan algoritma dari perancangan *data logger* adalah sebagai berikut:

1. Arduino Mega 328P aktif melakukan inisialisasi konstanta variabel RTC dan SD *card*.
2. Arduino melakukan inisiasi I/O untuk pendeteksian SD *Card*.
3. Apabila SD *Card* ada, maka akan inisiasi akan berlanjut dan led indikator menyala, jika tidak ada maka menginisilasi ulang hingga SD *card* terdeteksi ada.
4. Apabila inisiasi SD *Card* gagal maka arduino akan memanggil fungsi void *error*. Dan jika berhasil akan dilanjutkan dengan menyimpan data log setiap menitnya ke SD *Card*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL PENGUJIAN ALAT, SIMULASI, DAN ANALISA KOORDINASI PROTEKSI

4.1 Pengujian Alat

Untuk mengetahui bahwa alat telah bekerja dengan benar maka perlu dilakukan pengujian alat yang meliputi pengujian perangkat keras (*Hardware*) dan pengujian perangkat lunak (*Software*). Pengujian yang dilakukan pada peralatan digunakan untuk mengetahui kesesuaian antara teori dengan hasil perancangan, yaitu dengan mengetahui hasil pengukuran pada setiap perangkat yang telah dibuat. Hasil pengujian tersebut akan dianalisa untuk mengetahui penyebab terjadinya kekurangan dalam sistem. Pengujian tersebut meliputi :

1. Pengujian Perangkat Keras (*Hardware*) :
 - Sensor Temperatur dan Kelembaban DHT 22
2. Pengujian Perangkat Lunak (*Software*) :
 - RTC
3. Pengujian alat secara keseluruhan

4.1.1 Pengujian Sensor Temperatur dan Kelembaban

Pengujian sensor temperatur dan kelembaban dilakukan dengan cara membandingkan nilai temperatur dan kelembaban yang terukur oleh sensor dengan nilai yang terukur oleh alat kalibrasi. Tujuan dari pengujian kelembapan dan temperatur pada sensor DHT22 untuk mengetahui akurasi sensor DHT22. Sensor dalam alat ini berperan penting dalam mengolah nilai data temperatur dan kelembaban yang dikirim oleh mikrokontroler ke modul penyimpanan SD Card. Pengujian sensor awal dilakukan sebelum dilakukan kalibrasi, data pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.1. Pengujian dilakukan pada tanggal 4 Maret 2017 di dalam ruangan dengan pengambilan data setiap 30 menit sekali. Proses pengambilan data sensor dapat dilihat pada Gambar 4.1.

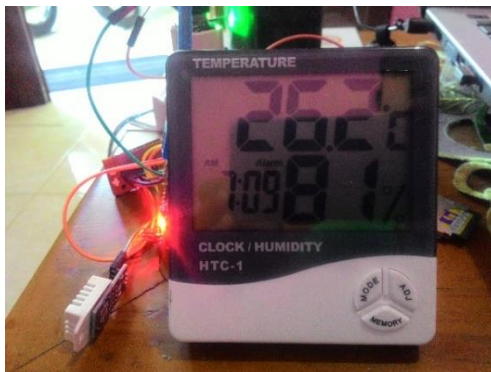
Pengujian sensor tanggal 4 Maret 2017

Tabel 4.1 Data pengukuran sensor DHT22 sebelum kalibrasi

Waktu	Alat Kalibrasi		Sensor		Selisih Nilai Temperatur Sensor dengan Alat Kalibrasi	Selisih Nilai Kelembaban Sensor dengan Alat Kalibrasi
	°C	%RH	°C	%RH		
06.05	25,4	82	25,80	89,00	-0,4	-7
06.35	25,9	81	25,90	88,60	0	-7,6
07.05	26,1	81	26,10	89,20	0	-8,2
07.35	26,6	80	26,40	88,30	-0,2	-8,3
08.05	26,8	82	26,80	89,00	0	-7
08.35	27,3	81	27,00	88,40	0,3	-7,4
09.05	27,5	81	27,30	89,70	0,2	-8,7
09.35	27,5	81	27,30	89,40	0,2	-8,4
10.05	27,6	80	27,40	89,50	0,2	-9,5
10.35	27,9	80	27,90	89,00	0	-9
11.05	27,9	81	27,90	90,00	0	-9
11.35	28,2	80	28,00	89,20	0,2	9,2
12.05	28,4	80	28,20	88,60	0,2	-8,6
12.35	28,4	80	28,20	88,80	0,2	-8,8
13.05	28,5	79	28,50	87,00	0	-8
13.35	28,6	78	28,60	85,00	0	-7
14.05	28,8	78	28,80	85,90	0	-7,9
14.35	28,7	78	28,70	85,00	0	-7
15.05	28,6	77	28,60	84,80	0	-7,8
Rata-rata					0,11	-7,15

Dari tabel hasil pengukuran diatas menunjukkan bahwa untuk selisih nilai temperatur sensor DHT22 dengan alat kalibrasi tidak berbeda jauh, hanya berkisar antara nilai 0,2-0,4. Sedangkan untuk selisih nilai kelembaban sensor DHT22 dengan alat kalibrasi menunjukkan perbedaan nilai yang cukup jauh, berkisar antara -7 hingga -9,5. Untuk mendapatkan hasil keluaran yang sesuai antara alat kalibrasi dengan sensor DHT22, baik itu temperatur maupun kelembaban, akan dilakukan proses kalibrasi hingga nilai keluaran sensor DHT22 mendekati nilai dari alat kalibrasi

yang ada. Gambar pengambilan data sensor DHT22 sebelum kalibrasi dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Pengambilan Data Sebelum Proses Kalibrasi

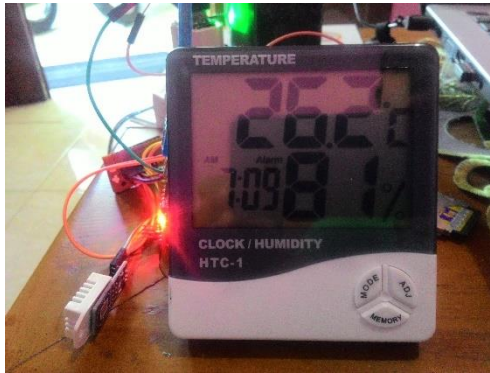
Agar nilai temperatur dan kelembaban pada output sensor mendekati nilai alat kalibrasi (nilai sebenarnya), maka yang penulis lakukan adalah membuat algoritma pada mikrokontroller sesuai dengan data yang didapatkan pada table 4.1. Dengan memperhatikan nilai perubahan rata-rata pada perbandingan antara nilai temperatur dan kelembaban pada sensor dengan alat kalibrasi, maka nilai tersebut akan menjadi dasar untuk mendapatkan nilai yang sesuai atau mendekati nilai sebenarnya. Setelah algoritma diinputkan kedalam mikrokontroller, maka penulis mendapatkan data sensor setelah proses kalibrasi dan dapat dilihat pada tabel 4.2. Pengambilan data ini dilakukan pada tanggal 11 Maret 2017 di dalam ruangan dengan pengambilan data setiap 30 menit sekali. Proses pengambilan data sensor setelah kalibrasi dapat dilihat pada gambar 4.2.

Pengujian sensor tanggal 11 Maret 2017

Tabel 4.2 Data pengukuran sensor DHT22 setelah kalibrasi

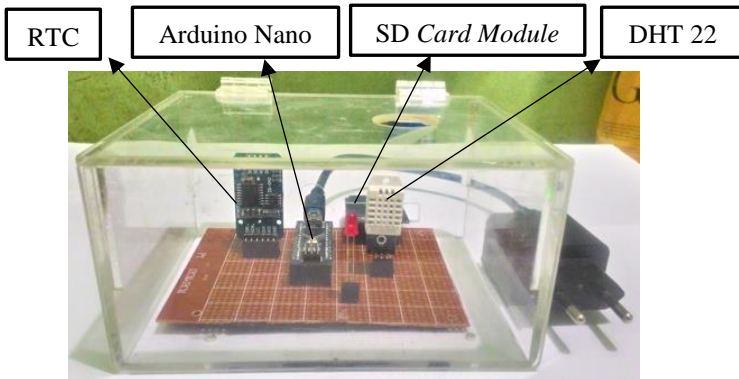
Waktu	Alat Kalibrasi		Sensor		Selisih Nilai Temperatur Sensor dengan Alat Kalibrasi	Selisih Nilai Kelembaban Sensor dengan Alat Kalibrasi
	°C	%RH	°C	%RH		
06.30	25,7	82	26,30	82,20	- 0,6	- 0,2
07.00	25,9	84	26,60	82,60	- 0,7	- 1,4
07.30	26,2	83	26,70	82,20	- 0,5	1,2
08.00	26,4	81	27,00	81,10	- 0,6	0,1
08.30	26,7	83	27,10	81,20	- 0,4	2,1
09.00	27,1	83	27,50	81,80	- 0,4	2,8
09.30	27,4	82	27,70	80,60	- 0,3	1,4
10.00	27,4	82	27,80	80,20	- 0,4	2
10.30	27,9	79	28,10	79,40	- 0,2	0,4
11.00	28,1	79	28,40	78,90	- 0,3	1
11.30	28,2	78	28,50	78,00	- 0,3	0
12.00	28,1	78	28,40	77,70	- 0,3	1,1
12.30	28,1	78	28,40	78,50	- 0,3	0,5
13.00	28,3	76	28,60	75,80	- 0,3	1,8
13.30	28,2	76	28,50	75,80	- 0,3	1,8
14.00	28,1	76	28,50	76,30	- 0,4	0,3
14.30	28,1	76	28,40	76,00	- 0,3	0
15.00	28,2	76	28,50	75,60	- 0,3	1
Rata-rata					-0,383	0,833

Dari tabel hasil pengukuran diatas, didapatkan nilai temperatur dan kelembaban pada sensor setelah proses kalibrasi relatif lebih stabil. Pengambilan data ini diambil dalam tenggang waktu 30 menit dimulai pada jam 06.30. Untuk perubahan output sensor berupa temperatur dibandingkan dengan alat kalibrasi memiliki perbedaan rata-rata sebesar 0,4 °C. Sedangkan untuk perubahan output sensor berupa kelembaban, memiliki rasio perubahan nilai yang mendekati dengan output nilai kelembaban dari alat kalibrasi. Rata-rata perubahan nilai kelembaban sensor setelah proses kalibrasi adalah sebesar 0,99% atau mendekati 1%..



Gambar 4.2 Pengambilan Data Setelah Proses Kalibrasi

Selanjutnya, sensor DHT 22 yang telah melalui proses kalibrasi kemudian dirangkai pada sebuah *board* bersamaan dengan sensor *Real Time Clock* (RTC), mikrokontroler, dan *SD card module*. Hal ini bertujuan agar alat tahan terhadap guncangan, terlindung dari debu atau polusi, dan mudah dibawa. Sebagai pelindung *board* komponen-komponen tersebut, penulis juga membuat kotak berbahan dasar akrilik dengan tebal 3mm, dan ukuran akrilik sebesar 14 cm x 11 cm x 7 cm. Berikut merupakan alat data logger yang telah dibuat oleh penulis :



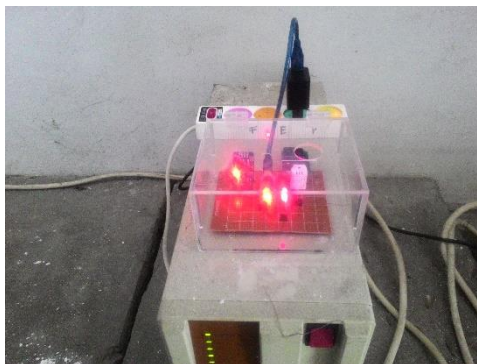
Gambar 4.3 Data Logger

4.2 Pengambilan Data Pada Gardu Listrik

Dalam upaya penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan di ITS, salah satu hal yang dilakukan oleh penulis adalah berupaya mengetahui nilai temperatur dan kelembaban pada gardu listrik ITS, khususnya pada gardu ring utara dan gardu ring selatan. Pengambilan data pada gardu listrik ini dilakukan pada gardu Rektorat dan gardu gedung SAC, SARPRAS, PUSKOM dan Lingkungan. Pengambilan data pada masing-masing gardu dilakukan dalam tenggang waktu satu minggu, dengan frekuensi pengambilan data dilakukan setiap satu menit sekali. Pengambilan data ini bertujuan untuk membandingkan nilai temperatur dan kelembaban pada kedua gardu tersebut, antara gardu rektorat yang telah disempurnakan, dan gardu gedung SAC, SARPRAS, PUSKOM + Lingkungan yang belum disempurnakan.

4.2.1 Data Temperatur dan Kelembaban Pada Gardu SAC, SARPRAS, PUSKOM, dan Lingkungan

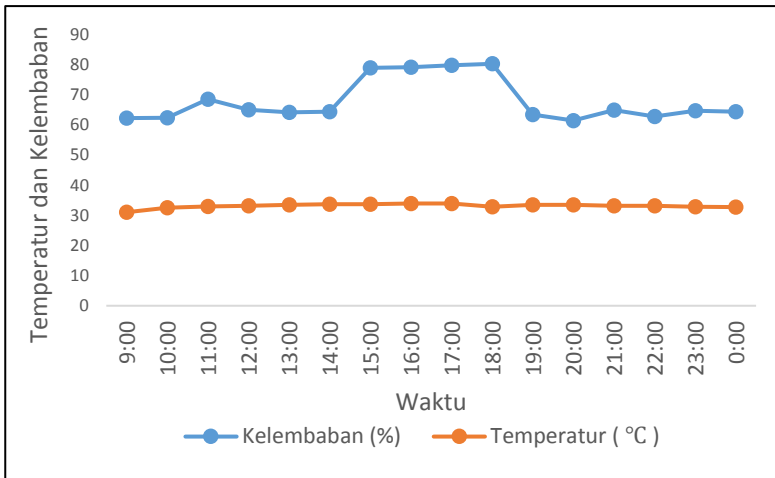
Pengambilan data temperatur dan kelembaban pada gardu SAC, SARPRAS, PUSKOM dan lingkungan dilakukan pada tanggal 16 – 23 Maret 2017 mulai sekitar jam 9 pagi.



Gambar 4.4 Pemasangan *Data Logger* pada Gardu SAC, SARPRAS, PUSKOM, dan Lingkungan

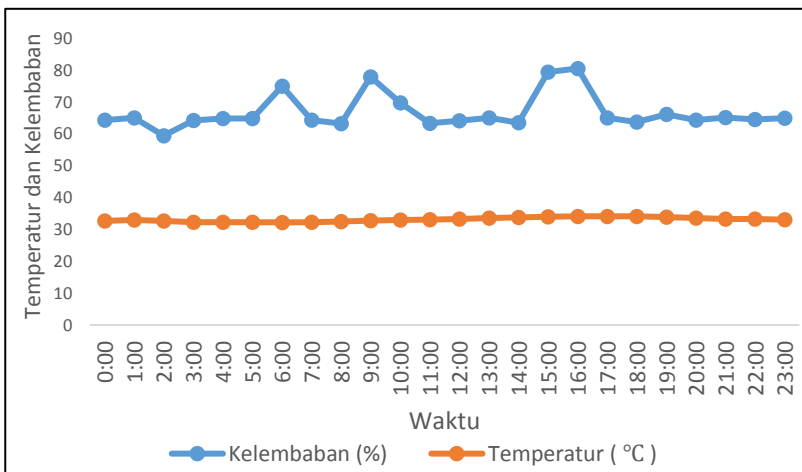
Berikut hasil pengambilan data temperatur dan kelembabannya dengan *report* grafik setiap harinya :

16 Maret 2017



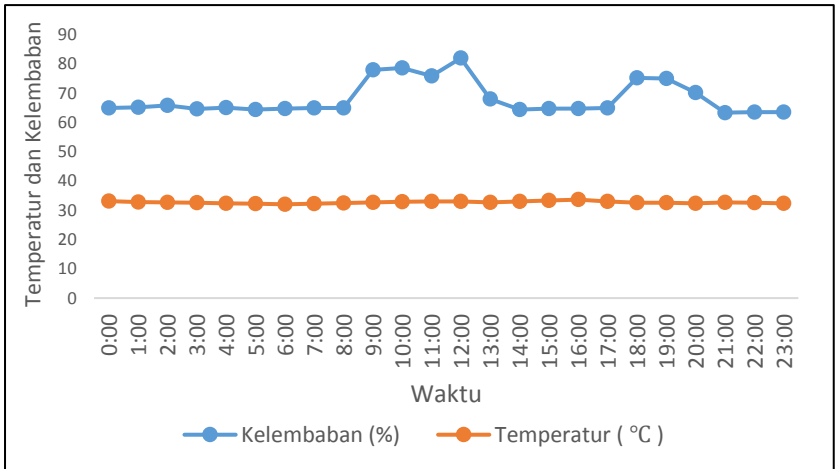
Gambar 4.5 Grafik Pengujian Data Logger 16 Maret 2017

17 Maret 2017



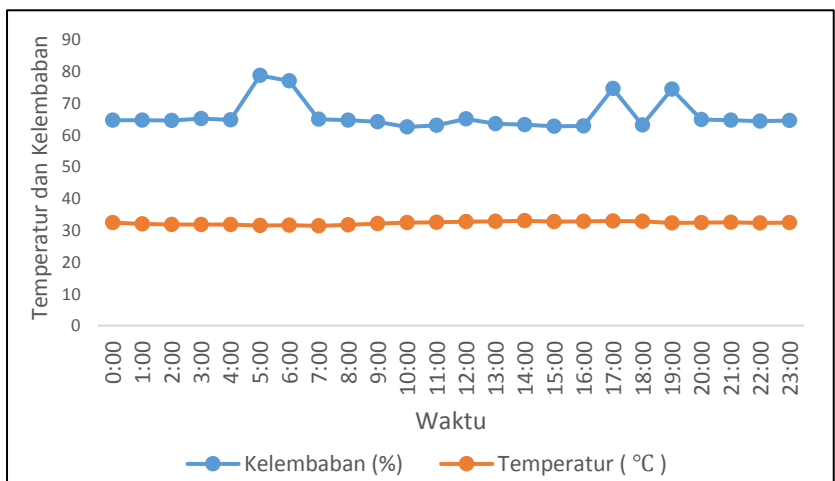
Gambar 4.6 Grafik Pengujian Data Logger 17 Maret 2017

18 Maret 2017



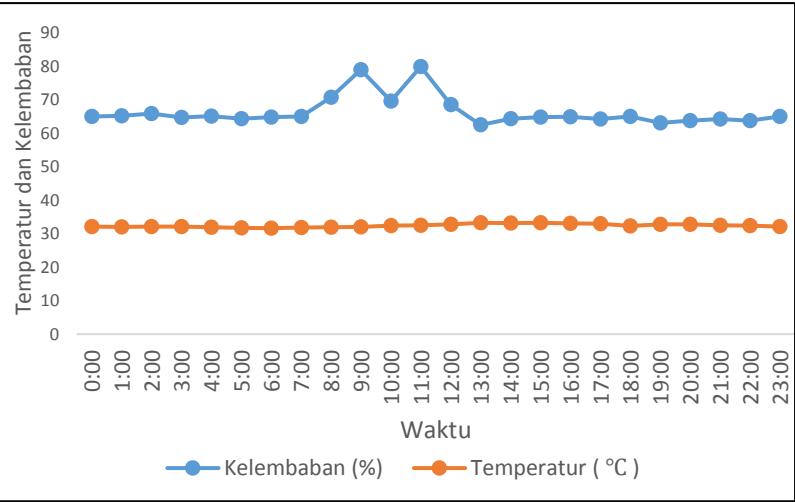
Gambar 4.7 Grafik Pengujian Data Logger 18 Maret 2017

19 Maret 2017



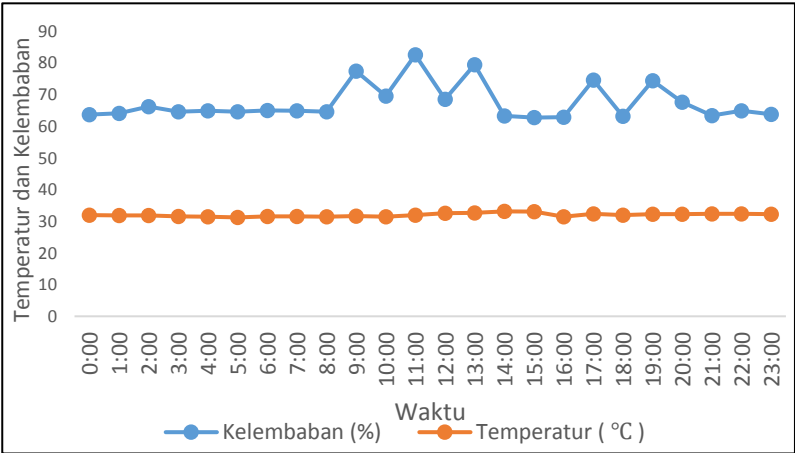
Gambar 4.8 Grafik Pengujian Data Logger 19 Maret 2017

20 Maret 2017



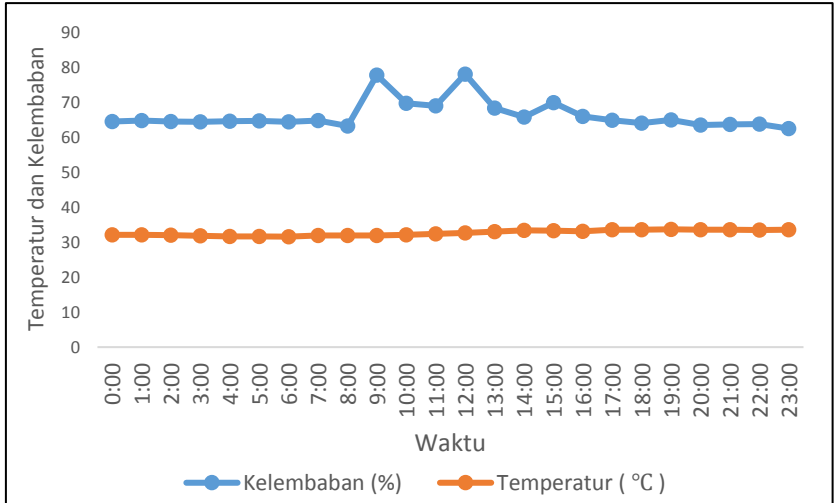
Gambar 4.9 Grafik Pengujian Data Logger 20 Maret 2017

21 Maret 2017



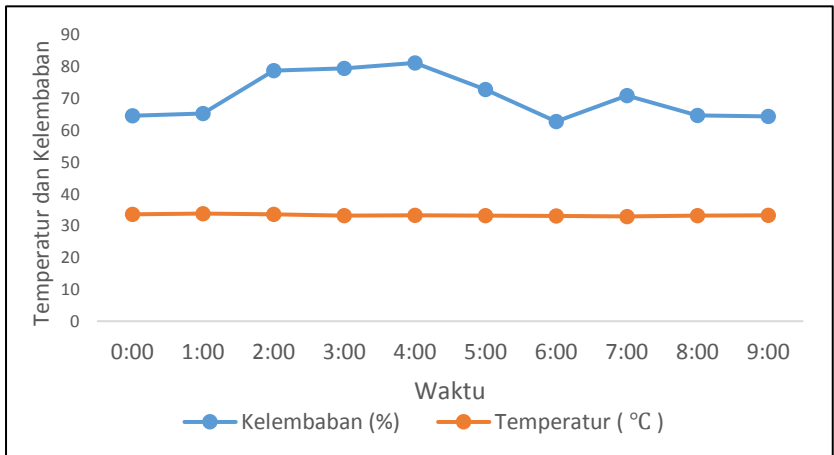
Gambar 4.10 Grafik Pengujian Data Logger 21 Maret 2017

22 Maret 2017



Gambar 4.11 Grafik Pengujian Data Logger 22 Maret 2017

23 Maret 2017

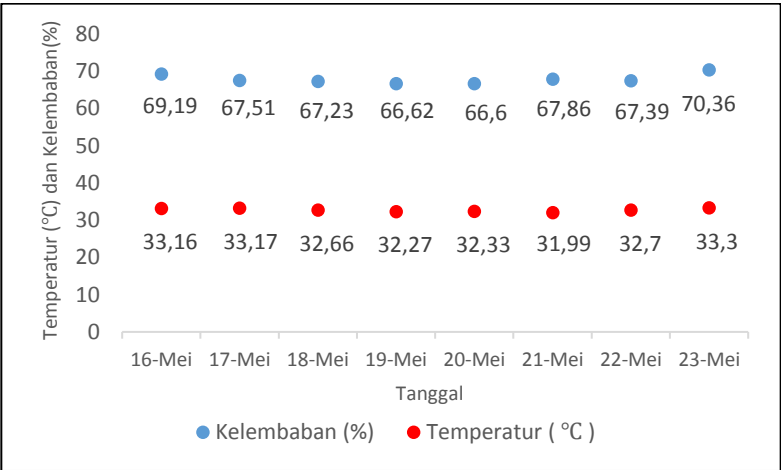


Gambar 4.12 Grafik Pengujian Data Logger 23 Maret 2017

Rata-rata nilai temperatur dan kelembaban dari pengujian data logger mulai 16 – 23 Maret 2017 :

Tabel 4.3 Rata-rata Nilai Temperatur dan Kelembaban 16 – 23 Maret 2017

Tanggal	Kelembaban (%)	Temperatur (°C)
16/03/2017	69.19	33.16
17/03/2017	67.51	33.17
18/03/2017	67.23	32.66
19/03/2017	66.62	32.27
20/03/2017	66.6	32.33
21/03/2017	67.86	31.99
22/03/2017	67.39	32.7
23/03/2017	70.36	33.3



Gambar 4.13 Grafik Rata-rata Pengujian Data Logger Tanggal 16 – 23 Maret 2017

Setelah melihat tabel 4.3 tentang nilai temperatur dan kelembaban per hari mulai tanggal 16 – 23 Maret, maka didapatkan nilai rata-ratanya. Nilai rata-rata temperatur dan kelembaban pada pengujian hari pertama tanggal 16 Maret 2017, menunjukkan bahwa nilai kelembabannya berada pada angka kelembaban 69.19% dan temperatur sebesar 33.16°C.

Pada tanggal selanjutnya, yaitu tanggal 17 Maret 2017, didapatkan nilai kelembaban yang lebih rendah dari tanggal sebelumnya sebesar 67.51%, dan temperturnya stabil pada nilai 33.17°C. Selanjutnya pada tanggal 18 Maret 2017, nilai kelembabannya kembali mengalami penurunan dari dua hari sebelumnya sebesar 67,23%, dan temperturnya turun hampir 1 °C, berada pada nilai 32.66°C.

Berbeda dengan tanggal 18 Maret 2017, pada tanggal 19 Maret 2017 terjadi penurunan nilai kelembaban, yaitu sebesar 66.62%. Sedangkan pada nilai temperturnya tetap pada kisaran nilai temperatur dihari sebelumnya yaitu sebesar 32.27°C. Di hari berikutnya, tanggal 20 Maret 2017, nilai temperatur dan kelembabannya cenderung sama dengan nilai temperatur dan kelembaban pada satu hari sebelumnya. Nilai kelembabannya sebesar 66.6%, dan nilai temperturnya sebesar 32.33°C.

Pada tiga hari terakhir pengukuran, nilai temperatur berada nilai terendah bila dibandingkan dengan hasil pengukuran pada hari-hari sebelumnya, yaitu pada tanggal 21 Maret 2017. Pada tanggal ini, nilai temperturnya sebesar 31.99 °C. Sedangkan nilai kelembabannya sebesar 67.86%. Pada tanggal selanjutnya, yaitu 22 Maret 2017 nilai kelembabannya berada pada nilai yang tidak jauh berbeda dari keseluruhan hasil pengambilan data di hari sebelumnya. Nilai kelembabannya sebesar 67.39%, dan nilai temperturnya mengalami peningkatan dari hari sebelumnya sebesar 32.7°C. Nilai temperatur dan kelembaban yang paling tinggi yang dapat dicapai dari keseluruhan hari-hari pengambilan data dicapai pada hari terakhir pengukuran, yaitu pada tanggal 23 Maret 2017 sebesar 33.3°C. Sedangkan nilai kelembabannya sebesar 70.36%.

Berdasarkan data yang temperatur dan kelembaban pada gardu per tanggal 16 – 23 Maret 2017, dapat dilihat bahwa pada waktu-waktu tertentu, terjadi perubahan nilai kelembaban yang signifikan. Perubahan ini diakibatkan kondisi lingkungan yang ada pada gardu sebelum dilakukan penyempunaan seperti yang telah dijelaskan pada bab

sebelumnya. Perubahan nilai kelembaban yang cenderung meningkat dan tiba-tiba, menyebabkan ruangan panel *cubicle* di dalam gardu akan mengalami kondensasi. Udara yang masuk melalui saluran bawah kabel yang ada pada gardu ini, akan terperangkap di dalam ruangan. Dalam jangka waktu yang lama, udara ini akan menyebabkan proses kondensasi atau pengembunan di dalam area instalasi panel *cubicle*.

Kondensasi atau pengembunan ini membawa air dapat bentuk gas yang kemudian berada di dalam area instalasi panel *cubicle*. Dalam beberapa peristiwa yang sering terjadi di gardu ITS yang belum dilakukan proses penyempurnaan, didapatkan bahwa pada peralatan pengaman yang ada di dalam panel *cubicle* seperti *circuit breaker*, *fuse*, *load breaking switch* pernah mengalami kegagalan fungsi kerja. Setelah diamati, ternyata pada peralatan pengaman yang ada pada gardu ini terdapat jamur dan tumbuh lumut di sekitar komponen peralatan penyusun peralatan pengaman itu sendiri.

Secara terus menerus, proses kondensasi ini akan terus berlangsung. Ditambah dengan nilai temperatur yang panas, menyebabkan suhu kerja peralatan semakin meningkat seiring dengan meningkatnya suhu kerja lingkungan di area instalasi panel *cubicle*.

4.2.2 Data Temperatur dan Kelembaban Pada Gardu Rektorat

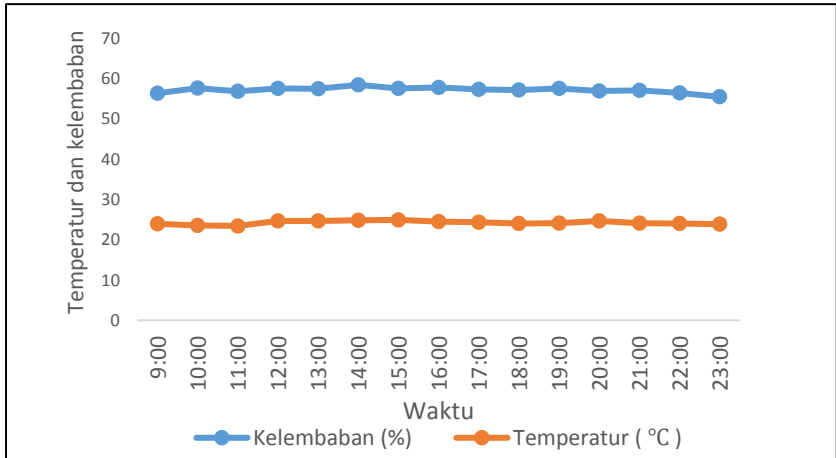
Pengambilan data temperatur dan kelembaban pada gardu Rektorat dilakukan pada tanggal 10 – 17 Mei 2017 mulai sekitar jam 9 pagi.



Gambar 4.14 Pemasangan *Data Logger* pada Gardu Rektorat

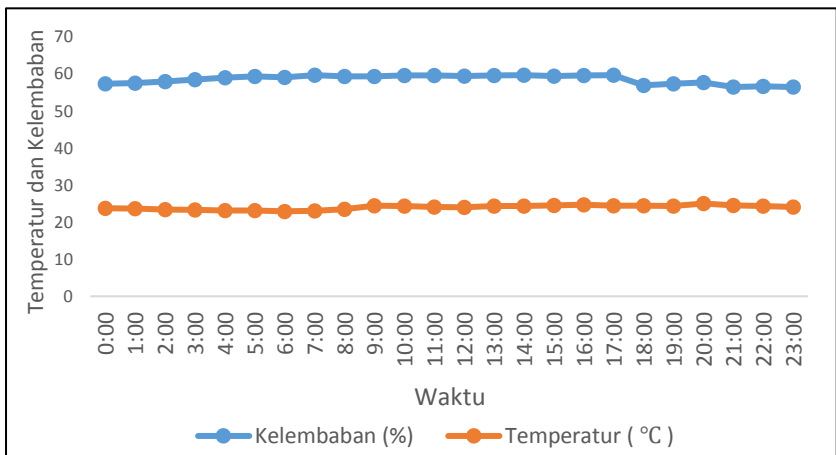
Berikut hasil pengambilan data temperatur dan kelembabannya dengan *report* grafik setiap harinya :

10 Mei 2017



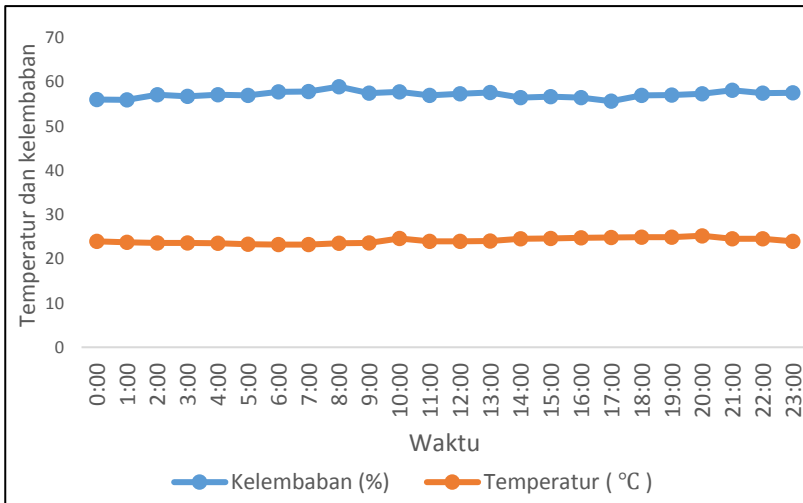
Gambar 4.15 Grafik Pengujian Data Logger 11 Mei 2017

11 Mei 2017



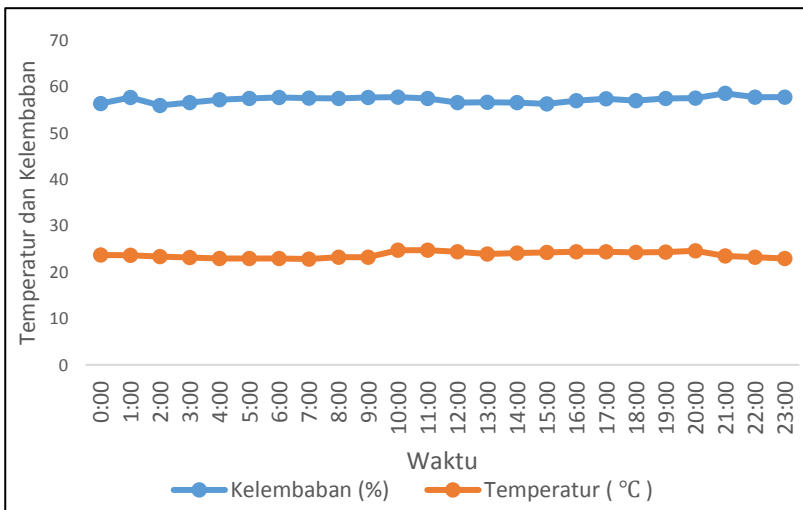
Gambar 4.16 Grafik Pengujian Data Logger 11 Mei 2017

12 Mei 2017



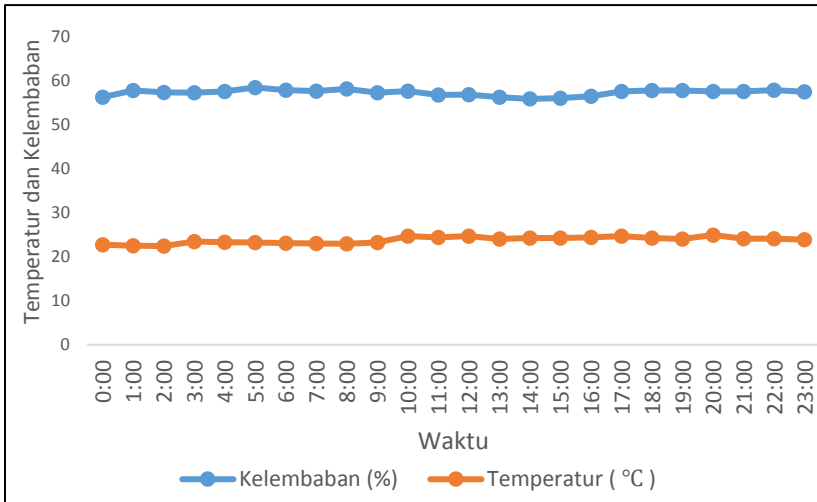
Gambar 4.17 Grafik Pengujian Data Logger 12 Mei 2017

13 Mei 2017



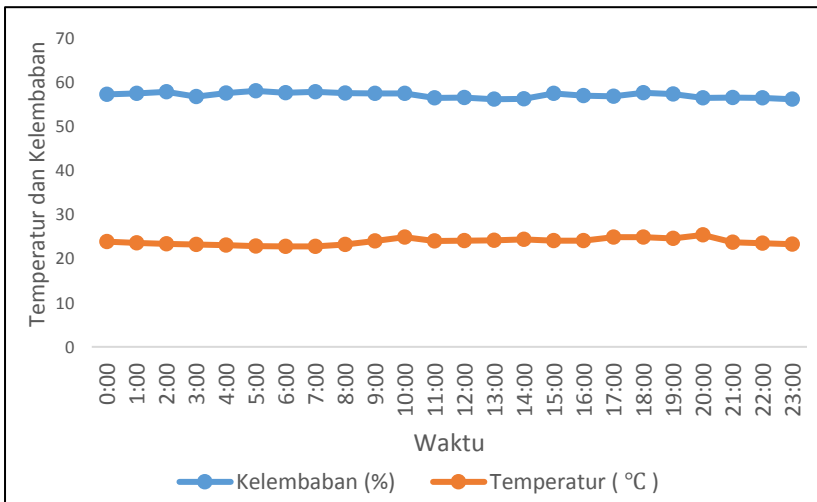
Gambar 4.18 Grafik Pengujian Data Logger 13 Mei 2017

14 Mei 2017



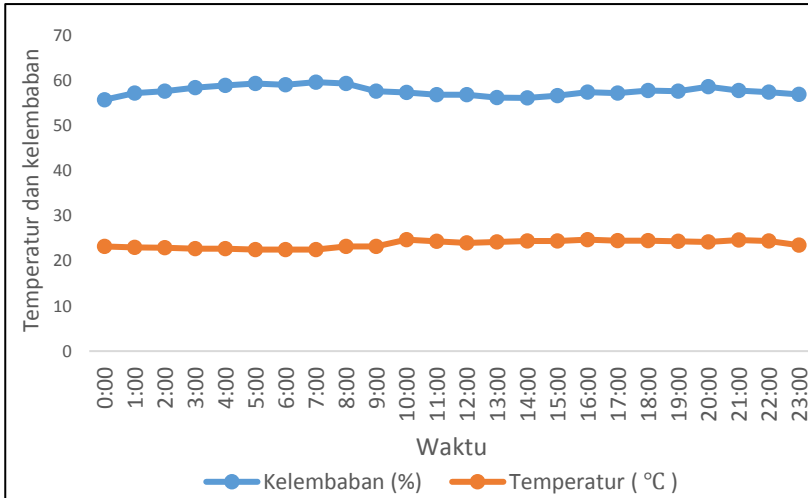
Gambar 4.19 Grafik Pengujian Data Logger 14 Mei 2017

15 Mei 2017



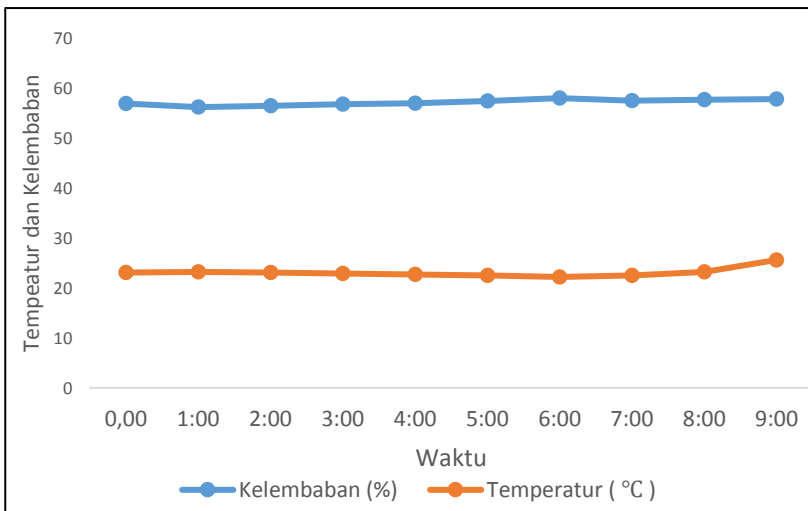
Gambar 4.20 Grafik Pengujian Data Logger 15 Mei 2017

16 Mei 2017



Gambar 4.21 Grafik Pengujian Data Logger 16 Mei 2017

17 Mei 2017

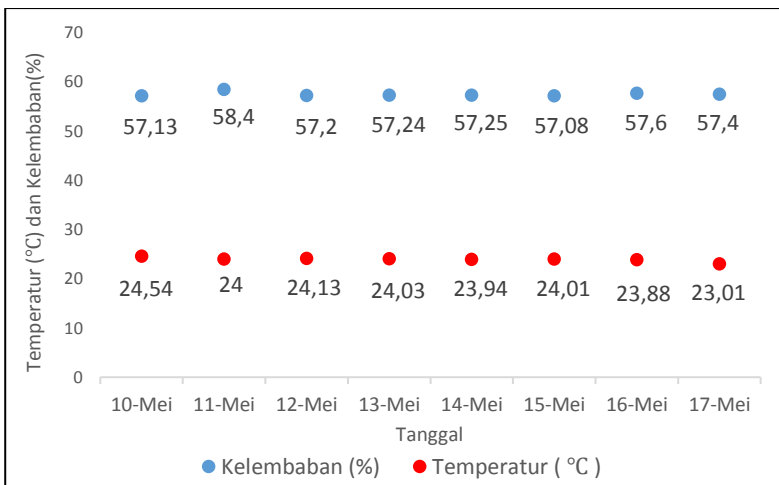


Gambar 4.22 Grafik Pengujian Data Logger 17 Mei 2017

Rata-rata nilai temperatur dan kelembaban dari pengujian data logger mulai 10 – 17 Mei 2017 :

Tabel 4.4 Rata-rata Nilai Temperatur dan Kelembaban 10 – 17 Mei 2017

Tanggal	Kelembaban (%)	Temperatur (°C)
10/05/2017	57.13	24.54
11/05/2017	58.4	24
12/05/2017	57.2	24.13
13/05/2017	57.24	24.03
14/05/2017	57.25	23.94
15/05/2017	57.08	24.01
16/05/2017	57.6	23.88
17/05/2017	57.4	23.01



Gambar 4.23 Grafik Rata-rata Pengujian Data Logger Tanggal 10 – 17 Mei 2017

Berdasarkan hasil pengukuran data logger pada tabel 4.4 mengenai temperatur dan kelembaban yang dimulai tanggal 10 – 17 Mei 2017, dapat dilihat bahwa nilai temperaturnya lebih stabil dikisaran angka 24°C, dan nilai kelembabannya berada pada kisaran 57% untuk yang paling rendah hingga 58.4% untuk nilai yang tertinggi

Pengukuran pada tanggal 10 Mei 2017, menunjukkan bahwa nilai kelembaban memiliki nilai yang terendah kedua dari keseluruhan data yang ada, yakni sebesar 57.13%, sedangkan temperaturnya sebesar 24.54°C. Pada tanggal berikutnya, 11 Mei 2017, nilai kelembabannya mengalami peningkatan sebesar 58.04%, sedangkan untuk nilai temperaturnya turun 0.54°C, sebesar 24°C. Untuk nilai temperatur di hari ketiga pengukuran, 12 Mei 2017 tidak jauh berbeda dengan nilai temperatur di hari sebelumnya, selisihnya kecil, sebesar 24.13°C, dan untuk nilai kelembabanya memiliki selisih, yaitu sebesar 57.2%.

Pada tanggal 13 Mei 2017 nilai kelembabannya tidak jauh berbeda dengan hari sebelumnya yaitu sebesar 57.24%, untuk nilai temperaturnya stabil di angka 24°C, yakni sebesar 24.03°C, hanya memiliki selisih sebesar 0,1°C. Pada tanggal selanjutnya, 14 Mei 2017, nilai kelembaban dan temperaturnya memiliki perbedaan yang tidak terlalu signifikan. Untuk nilai kelembabannya turun menjadi 57.25%, sedangkan untuk nilai temperaturnya menjadi 23.94°C.

Nilai kelembaban di tanggal 15 Mei 2017 mengalami penurunan, yaitu sebesar 57.08%. Sedangkan untuk nilai temperaturnya mengalami peningkatan sebesar 24.01°C. Di tanggal selanjutnya 16 Mei 2017, nilai kelembabannya naik 0.52% dari tanggal sebelumnya, yaitu sebesar 57.6%, sedangkan nilai temperaturnya juga mengalami penurunan dari tanggal sebelumnya, sebesar 23.88°C. Pada hari terakhir pengukuran data logger, 17 Mei 2017 nilai kelembabannya berada pada nilai 57.4%, dan nilai temperaturnya sebesar 23.01°C.

Berdasarkan data temperatur dan kelembaban pada gardu yang sudah dilakukan proses penyempurnaan, didapatkan nilai temperatur dan kelembaban yang lebih rendah dan lebih stabil bila dibandingkan dengan nilai temperatur dan kelembaban pada gardu yang belum mengalami proses penyempurnaan. Pada gardu ini, telah dilengkapi dengan *air conditioner*. Fungsi utama dari *air conditioner* ini adalah saat terjadi perubahan cuaca yang mungkin terjadi di lingkungan luar gardu, maka temperatur lingkungan di dalam gardu tidak akan terpengaruh,

artinya *air conditioner* ini akan menjaga nilai temperatur agar tetap stabil.

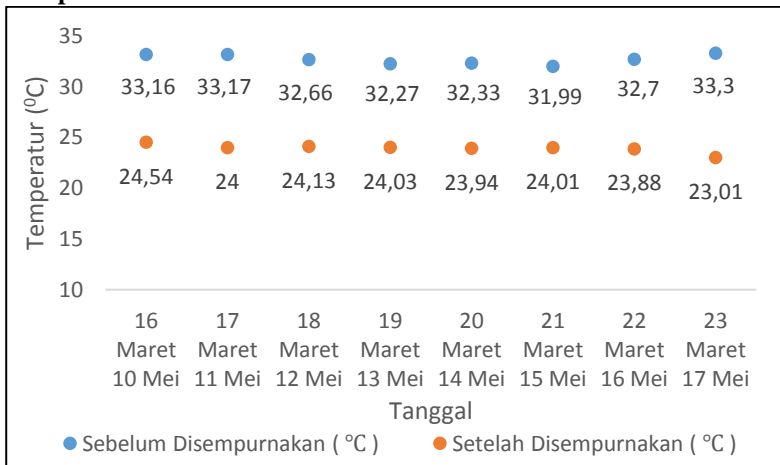
Selain itu, kondisi lingkungan yang ada pada gardu ini juga lebih baik dari gardu sebelum mengalami proses penyempurnaan, Hal ini mengakibatkan nilai kelembaban yang stabil dan tidak terjadi perubahan yang signifikan pada waktu-waktu tertentu. Nilai kelembaban yang rendah, akan memperlambat laju pertumbuhan jamur dan lumut yang mungkin dapat timbul pada peralatan-peralatan pengaman yang ada pada panel *cubicle*

Peluang terjadinya kondensasi pada gardu ini juga akan semakin kecil, mengingat nilai temperatur dan kelembaban yang lebih stabil dan lebih rendah dari gardu yang belum disempurnakan. Peralatan pengaman

4.2.3 Perbandingan Nilai Temperatur dan Kelembaban pada Gardu yang Belum dilakukan Penyempurnaan dan Gardu yang telah dilakukan Penyempurnaan

Setelah dilakukan proses pengambilan data pada masing-masing gardu selama 2 minggu, didapatkan nilai perbandingan temperatur dan kelembabannya. Nilai perbandingan temperatur dan kelembaban ini dapat dilihat pada grafik berikut ini :

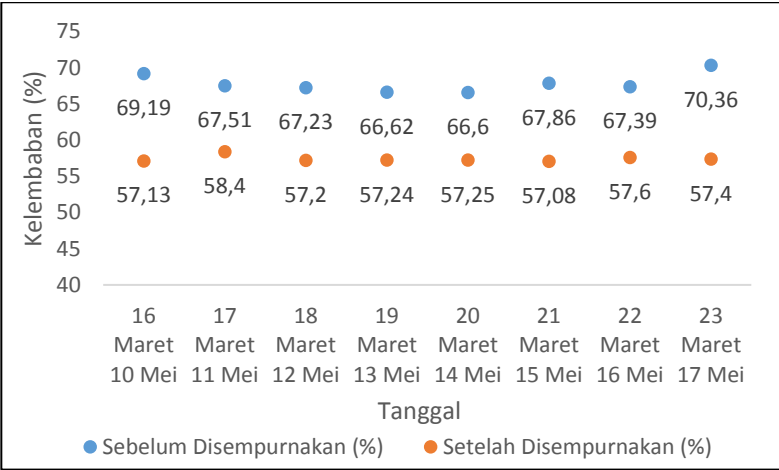
Temperatur



Gambar 4.24 Perbandingan Nilai Temperatur Pada Gardu Sebelum dengan Sesudah Dilakukan Penyempurnaan

Pada gambar 4.24 dapat dilihat bahwa nilai temperatur pada gardu sebelum dengan sesudah direkonfigurasi memiliki perbedaan. Perbedaan ini berkisar pada nilai sekitar 9⁰C. Nilai temperatur pada gardu sebelum direkonfigurasi mendekati nilai batas maksimum suhu kerja lingkungan pada lingkungan *cubicle* berdasarkan *standar medium voltage guide* yaitu sebesar 35⁰C. Sedangkan pada gardu setelah direkonfigurasi nilai temperaturnya lebih rendah.

Kelembaban



Gambar 4.25 Perbandingan Nilai Kelembaban pada Gardu Sebelum dengan Sesudah Dilakukan Penyempurnaan

Pada gambar 4.25 dapat dilihat bahwa nilai kelembaban pada gardu sebelum dengan sesudah direkonfigurasi memiliki perbedaan. Perbedaan ini berkisar pada nilai sekitar 7%. Nilai kelembaban pada gardu sebelum direkonfigurasi cenderung lebih lembab bila dibandingkan dengan gardu setelah direkonfigurasi.

Berdasarkan hasil perbandingan nilai temperatur dan kelembaban pada gardu sebelum dengan sesudah direkonfigurasi, dapat dinyatakan bahwa potensi terjadinya jamur dan debu pada area sekitar *cubicle* pada gardu yang belum direkonfigurasi memiliki potensi yang lebih besar bila dibandingkan dengan gardu yang telah direkonfigurasi. Peralatan-peralatan kelitrikan pada area *cubicle* yang akan mendapatkan dampak

yang besar, potensi terjadinya tegangan tembus juga lebih besar, kegagalan *circuit breaker*, atau peralatan lain dalam melakukan fungsinya juga lebih besar potensi kegagalannya akibat nilai temperatur dan kelembaban yang tinggi.

4.3 Koordinasi Proteksi

Dalam sebuah koordinasi proteksi, kapasitas / rating peralatan pengaman sangat perlu diperhatikan. Hal ini erat kaitannya dengan ketahanan peralatan terhadap gangguan hubung singkat yang sewaktu-waktu dapat terjadi pada sebuah sistem kelistrikan. Peralatan pengaman ini berupa *circuit breaker*, *fuse*, *switch*, rele *overcurrent* dan *groundfault*. Kapasitas peralatan pengaman dapat diketahui dengan melakukan analisa perhitungan arus hubung singkat maksimum pada sistem kelistrikannya ($1.5 - 4 \text{ cycle}$).

Fokus penyempurnaan sistem kelistrikan ini terletak pada bagian distribusi 20 kV. Dan untuk perencanaan koordinasi proteksi rele arus lebih (*overcurrent*) dan rele *groundfault*, digunakan gambar kurva TCC (*Time Current Curve*) agar memudahkan dalam melakukan evaluasi. Kurva TCC tersebut didapatkan berdasarkan perhitungan karakteristik rele yang akan digunakan pada sistem kelistrikan di ITS.

4.4 Analisis Arus Gangguan Hubung Singkat

Untuk mensetting rele pengaman arus lebih perlu dilakukan analisis gangguan hubung singkat di setiap bus pada tipikal yang telah dipilih. Terdapat 2 parameter arus gangguan hubung singkat yang digunakan untuk mensetting rele pengaman yaitu arus gangguan hubung singkat minimum dan maksimum. Nilai arus gangguan maksimum adalah ketika terjadi gangguan hubung singkat 3 fasa, sedangkan nilai arus hubung singkat minimum adalah saat terjadi gangguan hubung singkat 2 fasa. Nilai gangguan tersebut digunakan untuk mensetting rele arus lebih.

4.4.1 Analisis Hubung Singkat Minimum

Untuk mensetting rele pengaman arus lebih digunakan nilai arus hubung singkat 2 fasa pada saat 30 cycle . Hal ini digunakan untuk membatasi setting arus ketika mensetting pada sisi instan. Sehingga ketika terjadi gangguan hubung singkat minimum rele akan bekerja dengan tepat dan cepat sesuai dengan time delay yang telah ditentukan.

Hasil simulasi hubung singkat 2 fasa pada saat 30 *cycle*, sehingga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.5

Tabel 4.5 Data Arus Hubung Singkat Minimum

Bus Peralatan	Tegangan	Arus Hubung Singkat 2 fasa 30 <i>cycle</i>
G. Rektorat	20 kV	9,71 kA
G. Sipil	20 kV	9,62 kA
G. D3	20 kV	9,38 kA
G. FTK	20 kV	9,6 kA
G. FTIf	20 kV	9,5 kA
G. Robotika	20 kV	9,27 kA

4.4.2 Analisis Hubung Singkat Maksimum

Arus hubung singkat maksimum adalah arus hubung singkat 3 fasa pada saat 4 *cycle*, digunakan hubung singkat ketika 4 *cycle* karena rele arus lebih bekerja pada 3-5 *cycle*. Hubung singkat maksimum ini digunakan untuk membatasi arus hubung singkat terbesar yang mungkin terjadi. Arus hubung singkat maksimum 4 *cycle* digunakan untuk setting rele arus lebih dengan time delay antara 0,08 sekon sampai 0,5 sekon. Sedangkan arus hubung singkat maksimum 30 *cycle* digunakan untuk setting rele arus lebih dengan time delay 0,6 sekon atau lebih. Pada simulasi hubung singkat ini dilakukan hubung singkat maksimum 4 *cycle* dan 30 *cycle*, sehingga hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4.6 Data Arus Hubung Singkat Maksimum

Bus Peralatan	Tegangan	Arus Hubung Singkat 3 fasa 4 <i>cycle</i>
Bus G. Rektorat	20 kV	11,22 kA
Bus G. Sipil	20 kV	11,11 kA
Bus G. D3	20 kV	10,84 kA
Bus G. FTK	20 kV	11,08 kA
Bus G. FTIf	20 kV	10,97 kA
Bus G. Robotika	20 kV	10,71 kA

4.5 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan Fasa

Rele arus lebih ini berguna untuk mengamankan gangguan arus lebih fasa yang berupa *over load* dan *short circuit*, untuk koordinasi rele arus lebih gangguan fasa dilakukan setting arus dan waktu pada masing - masing rele agar setiap rele dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Koordinasi ini bertujuan untuk mengisolasi gangguan agar tidak mengganggu peralatan yang lain. Sehingga hasil koordinasi tidak diharapkan ada beberapa rele yang bekerja bersamaan atau terjadi *overlap* antara rele yang satu dengan rele yang lain. Karena hal itu *setting* rele arus lebih ini harus dihitung nilai *low set*, *high set*, *time dial* dan *time delay* harus sesuai standart IEEE 242, *grading time* untuk rele digital adalah 0,2 sampai 0,3 detik. Pada tugas akhir ini yang dipilih dengan *gradding time* 0,2 detik.

Setelah dilakukan perhitungan untuk nilai *low set*, *high set*, *time dial*, dan *time delay*, selanjutnya tipikal diplot pada *Star Protective Device Coordination* sehingga *time current curve* masing - masing rele dapat terlihat dimana pada *time current curve* tersebut bisa dilihat koordinasinya apakah sudah betul atau tidak. Rele pengaman harus memperhatikan arus pengisian (*inrush current*) pada trafo.

4.6 Pemilihan Tipikal Koordinasi Sistem Kelistrikan ITS

Pemilihan tipikal ini bertujuan untuk mempermudah menganalisa tetang koordinasi pengaman pada sistem kelistrikan di ITS. Pada koordinasi pengaman arus lebih kelistrikan ITS dipilih 2 tipikal yang mewakili keseluruhan sistem. Tipikal-tipikal tersebut dipilih berdasarkan saluran terpanjang, saluran terpendek, dan beban terbesar pada sistem kelistrikan di ITS. 2 tipikal tersebut antara lain :

1. *Case 1* : Koordinasi sistem pengaman dari gardu sumber *grid* PLN, menuju *outgoing* gardu sipil, gardu sipil, *outgoing* gardu D3 sampai dengan beban *static* gardu D3. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran yang melewati pengaman pada masing-masing gardu.
2. *Case 2* : Koordinasi pada sistem pengaman dari gardu rektorat menuju *outgoing* gardu FTK, gardu FTIf, kemudian *outgoing* gardu Robotika, sampai dengan beban *static* gardu robotika. Pemilihan tipikal ini berdasarkan saluran terpanjang yang melewati perlatan pengaman pada gardu-gardu tersebut.

Untuk gangguan fasa ke tanah, pemilihan tipikalnya sama dengan tipikal arus beban lebih, yaitu tipikal 1 dan 2. Tipikal koordinasi proteksi pada sistem kelistrikan ITS dapat dilihat pada lampiran A-5.

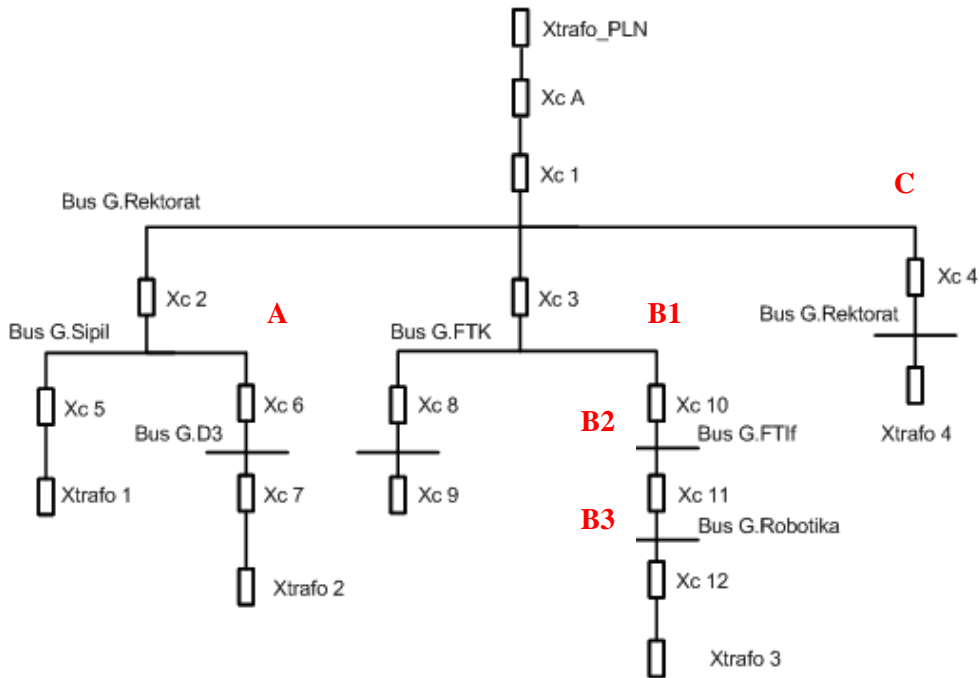
4.7 Koordinasi Rele Pengaman

Pengertian koordinasi pengaman yaitu terdapat 2 jenis atau lebih peralatan proteksi diantara titik kesalahan/gangguan. Peralatan ini harus dikoordinasikan untuk memastikan bahwa peralatan yang berada pada titik terdekat dengan gangguan harus dioperasikan terlebih dahulu. Kegagalan pada proteksi utama harus dapat diatasi, yaitu dengan proteksi cadangan (*back up protection*). Proteksi cadangan ini umumnya mempunyai perlambatan waktu (*time delay*), hal ini untuk memberikan kesempatan kepada proteksi utama beroperasi terlebih dahulu, dan jika proteksi utama gagal baru proteksi cadangan yang akan beroperasi. Dengan demikian hanya bagian yang mengalami gangguan saja yang dipisahkan atau diisolir dari sistem tersebut. Rele pengaman dengan kemampuan selektif yang baik dibutuhkan untuk mencapai keandalan sistem yang tinggi karena tindakan pengaman yang cepat dan tepat akan dapat memperkecil gangguan menjadi sekecil mungkin.

Pada tugas akhir ini, digunakan koordinasi rele arus lebih dan rele *groundfault*. Rele arus lebih ini bertujuan untuk menjaga apabila terjadi gangguan hubung singkat tidak akan mengganggu stabilitas sistem oleh karena itu gangguan hubung singkat harus segera dihilangkan secepatnya. Sedangkan rele *groundfault* bertujuan untuk mengamankan adanya besaran arus dan terpasang pada jaringan tegangan tinggi, tegangan menengah juga pada pengaman transformator tenaga.

4.8 Perhitungan Kapasitas Peralatan

Perhitungan kapasitas peralatan ini bertujuan untuk menentukan rating dari masing-masing peralatan pengaman yang ada pada sistem kelistrikan ITS ring utara. Kapasitas peralatan yang dihitung adalah peralatan pengaman yang telah mengalami perbaikan sesuai dengan koordinasi proteksi yang baru. Perhitungan kapasitas peralatan ini menggunakan perhitungan “diagram impedansi” untuk mendapatkan nilai $I_{sc\ max}$ dari bus yang mengalami *short circuit*. Diagram impedansinya dapat dilihat pada gambar 4.26 berikut ini :



Gambar 4.26 Diagram Impedansi

4.4.1 Perhitungan diagram impedansi

Transformator

$$X_{\text{Trafo}} = \frac{KV^2}{MVA_{\text{Trafo}}} \times Z_{\text{Trafo}}$$

$$X_{\text{base}} = \frac{KV^2}{MVA_{\text{Base}}} = \frac{20^2}{100}$$

$$= 4 \, \Omega$$

$$X_{\text{Trafo}} (\text{pu}) = \frac{X_{\text{Trafo}}}{X_{\text{Base}}}$$

- **Transformator PLN**
 - Kapasitas = 60 MVA
 - $Z_{\text{Trafo}} = 12,67 \%$

$$X_{\text{Trafo PLN}} = \frac{20^2}{60} \times 0,1267$$

$$= 0,84 \Omega$$

$$X_{\text{Trafo (pu)}} = \frac{0,84}{4} = 0,21 \text{ pu}$$

- **Transformator Distribusi Gardu Sipil**

- Kapasitas = 800 KVA
- $Z_{\text{Trafo}} = 4,3 \%$

$$X_{\text{Trafo Sipil}} = \frac{20^2}{0,8} \times 0,043$$

$$= 21,5 \Omega$$

$$X_{\text{Trafo (pu)}} = \frac{21,5}{4} = 5,375 \text{ pu}$$

- **Transformator Distribusi Gardu Rektorat**

- Kapasitas = 800 KVA
- $Z_{\text{Trafo}} = 4,6 \%$

$$X_{\text{Trafo Rektorat}} = \frac{20^2}{0,8} \times 0,046$$

$$= 23 \Omega$$

$$X_{\text{Trafo (pu)}} = \frac{23}{4} = 5,75 \text{ pu}$$

- **Transformator Distribusi Gardu FTK**

- Kapasitas = 800 KVA
- $Z_{\text{Trafo}} = 4,5 \%$

$$X_{\text{Trafo FTK}} = \frac{20^2}{0,8} \times 0,045$$

$$= 22,5 \Omega$$

$$X_{\text{Trafo}} (\text{pu}) = \frac{22,5}{4} = 5,625 \text{ pu}$$

- **Transformator Distribusi Gardu D3**

- Kapasitas = 800 KVA
- $Z_{\text{Trafo}} = 4,6 \%$

$$\begin{aligned} X_{\text{Trafo D3}} &= \frac{20^2}{0,8} \times 0,046 \\ &= 22,5 \Omega \end{aligned}$$

$$X_{\text{Trafo}} (\text{pu}) = \frac{22,5}{4} = 5,75 \text{ pu}$$

- **Transformator Distribusi Gardu Robotika**

- Kapasitas = 630 KVA
- $Z_{\text{Trafo}} = 4 \%$

$$\begin{aligned} X_{\text{Trafo Robotika}} &= \frac{20^2}{0,63} \times 0,04 \\ &= 25,39 \Omega \end{aligned}$$

$$X_{\text{Trafo}} (\text{pu}) = \frac{25,39}{4} = 6,3475 \text{ pu}$$

Kabel

$$X_c = \frac{Z_{\text{kabel}}}{\text{Jumlah Konduktor per phasa}} \times \text{Panjang (km)}$$

$$X_{\text{base}} = \frac{KV^2}{MVA_{\text{Base}}} = \frac{20^2}{100}$$

$$= 0,4 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{X_{\text{kabel}}}{X_{\text{Base}}}$$

- **Kabel Outgoing Gardu Sukolilo**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,20326$
- Panjang = 2,7 km
- Jumlah Konduktor / Phasa = 3

$$X_{\text{c outgoing_PLN}} = \frac{0,20326}{3} \times 2,7 = 0,182934 \, \Omega$$

$$X_{\text{kabel (pu)}} = \frac{0,182934}{4} = 0,0457335 \, \text{pu}$$

- **Kabel Outgoing PLN**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,35992$
- Panjang = 0,03 km
- Jumlah Konduktor / Phasa = 3

$$X_{\text{c outgoing_PLN}} = \frac{0,35992}{3} \times 0,03 = 0,0035992 \, \Omega$$

$$X_{\text{kabel (pu)}} = \frac{0,0035992}{4} = 0,0008998 \, \text{pu}$$

- **Kabel Outgoing Gardu Sipil**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,35992$
- Panjang = 0,19 km
- Jumlah Konduktor / Phasa = 3

$$X_{\text{c outgoing Sipil}} = \frac{0,35992}{3} \times 0,19 = 0,0228 \, \Omega$$

$$X_{\text{kabel (pu)}} = \frac{0,0228}{4} = 0,0057 \, \text{pu}$$

- **Kabel Outgoing Gardu Rektorat**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,19379$
- Panjang = 0,045 km
- Jumlah Konduktor / Phasa = 1

$$X_{\text{c outgoing Rektorat}} = \frac{0,19379}{1} \times 0,045 = 0,00872055 \, \Omega$$

$$X_{\text{kabel (pu)}} = \frac{0,00872055}{4} = 0,00218 \, \text{pu}$$

- **Kabel Outgoing ke Trafo Sipil**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,19379$
- Panjang = 0,045 km

- Jumlah Konduktor / Phasa = 1

$$X_{c \text{ outgoing Rektorat}} = \frac{0,19379}{1} \times 0,045 = 0,00872055 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,00872055}{4} = 0,00218 \text{ pu}$$

- **Kabel Outgoing Gardu D3**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,35992$

- Panjang = 0,426 km

- Jumlah Konduktor / Phasa = 3

$$X_{c \text{ outgoing Rektorat}} = \frac{0,35992}{3} \times 0,426 = 0,0511 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,0511}{4} = 0,012775 \text{ pu}$$

- **Kabel Outgoing ke Trafo D3**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,27339$

- Panjang = 0,03 km

- Jumlah Konduktor / Phasa = 1

$$X_{c \text{ outgoing Trafo D3}} = \frac{0,27339}{1} \times 0,03 = 0,0082017 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,0082017}{4} = 0,002050425 \text{ pu}$$

- **Kabel Outgoing Gardu FTK**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,27339$

- Panjang = 0,03 km

- Jumlah Konduktor / Phasa = 1

$$X_{c \text{ outgoing Gardu FTK}} = \frac{0,27339}{1} \times 0,03 = 0,0082017 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,0082017}{4} = 0,002050425 \text{ pu}$$

- **Kabel Outgoing Gardu FTIf**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,26923$

- Panjang = 0,24 km

- Jumlah Konduktor / Phasa = 3

$$X_{c \text{ outgoing Gardu FTK}} = \frac{0,26923}{3} \times 0,24 = 0,0215384 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,0215384}{4} = 0,0053846 \text{ pu}$$

- **Kabel Outgoing Gardu Robotika**

- $Z_{\text{kabel}} = 0,26923$
- Panjang = 0,45 km
- Jumlah Konduktor / Phasa = 3

$$X_{\text{c outgoing Gardu FTK}} = \frac{0,26923}{3} \times 0,45 = 0,0403845 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,0403845}{4} = 0,010096125 \text{ pu}$$

- **Kabel Outgoing ke Trafo Robotika**

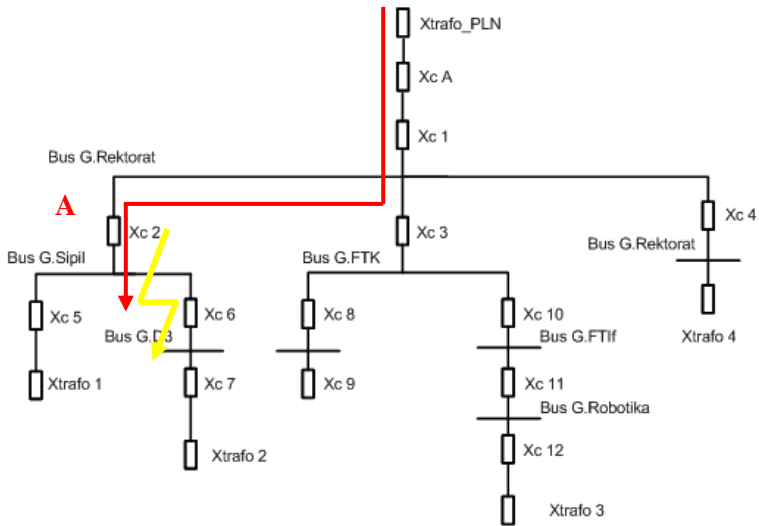
- $Z_{\text{kabel}} = 0,27339$
- Panjang = 0,03 km
- Jumlah Konduktor / Phasa = 1

$$X_{\text{c outgoing Gardu FTK}} = \frac{0,27339}{1} \times 0,03 = 0,0082017 \Omega$$

$$X_{\text{kabel}} (\text{pu}) = \frac{0,0082017}{4} = 0,002050425 \text{ pu}$$

Setelah mendapatkan nilai parameter-parameter diatas, dapat dihitung nilai $I_{\text{sc max 3phasa}}$ yang terjadi pada setiap bus untuk mendapatkan nilai kapasitas peralatan pengaman. Nilai $I_{\text{sc max 3phasa}}$ pada setiap bus akan menentukan berapa besar rating kapasitas peralatan pengaman yang tepat untuk sistem kelistrikan di ring utara ITS. Perhitungan kapasitas peralatan yang akan dihitung adalah CB 1, CB 2, CB 3, CB 4, CB 5, dan CB 6. Bila terjadi *short circuit* 3 phasa di masing-masing bus (dapat dilihat pada gambar 4.27, maka perhitungan $I_{\text{sc max}}$ adalah sebagai berikut :

Short Circuit di Bus A Menghitung Kapasitas CB 2



Gambar 4.27 Diagram Impedansi *Short Circuit* di bus A

Perhitungan

Impedansi arus kontribusi Sumber PLN = X_{grid} , $X_{Trafo\ PLN}$, X_{cA} , X_{c1} , X_{c2}

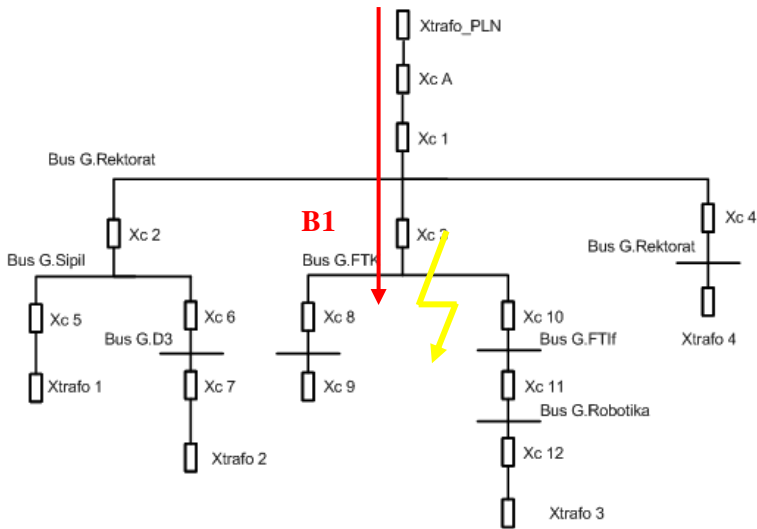
$MVA_{base} = 100\ MVA$; $X_{Trafo\ PLN} = 0,21$;

$X_{cA} = 0,0457335\ pu$; $X_{c1} = 0,0008998\ pu$; $X_{c2} = 0,0057\ pu$

$$\begin{aligned}
 I_{sc} &= \frac{1}{X_{Trafo\ PLN} + X_{cA} + X_{c1} + X_{c2}} \times \frac{MVA_{Base}}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,21 + 0,0457335 + 0,0008998 + 0,0057} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,2623333} \times 2,8867 \\
 &= 3,81\ pu \times 2,8867
 \end{aligned}$$

$I_{sc} = 11\ kA$; kapasitas *short circuit* CB 2 adalah sebesar **11 kA**

Short Circuit di Bus B1 Menghitung Kapasitas CB 3



Gambar 4.28 Diagram Impedansi *Short Circuit* di bus B

Perhitungan

Impedansi arus kontribusi Sumber PLN = $X_{\text{Trafo PLN}}, X_{cA}, X_{c1}, X_{c3}$

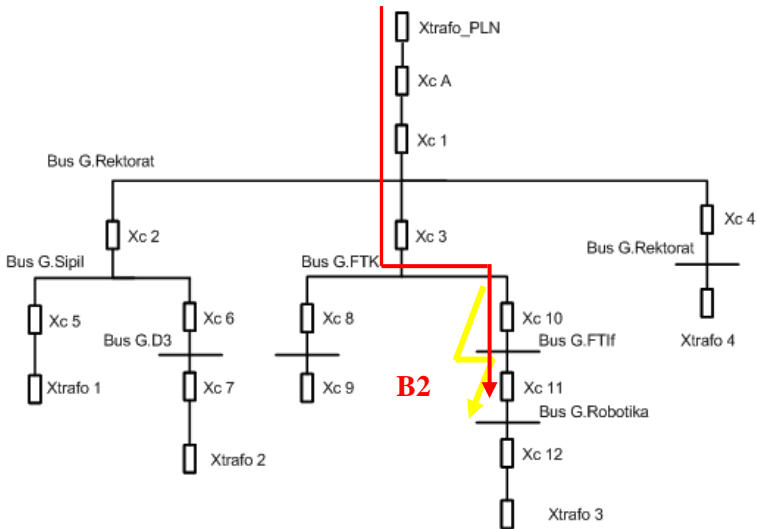
$MVA_{\text{base}} = 100 \text{ MVA}$; $X_{\text{Trafo PLN}} = 0,21$;

$X_{cA} = 0,0457335 \text{ pu}$; $X_{c1} = 0,0008998 \text{ pu}$; $X_{c3} = 0,002050425 \text{ pu}$

$$\begin{aligned}
 I_{sc} &= \frac{1}{X_{\text{Trafo PLN}} + X_{cA} + X_{c1} + X_{c3}} \times \frac{MVA_{\text{Base}}}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,21 + 0,0457335 + 0,0008998 + 0,002050425} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,258683725} \times 2,8867 \\
 &= 3,86 \text{ pu} \times 2,8867
 \end{aligned}$$

$I_{sc} = 11,84 \text{ kA}$; kapasitas *short circuit* CB 3 adalah sebesar **11,15 kA**

Short Circuit di Bus B2 Menghitung Kapasitas CB 5



Gambar 4.29 Diagram Impedansi *Short Circuit* di bus B2

Perhitungan

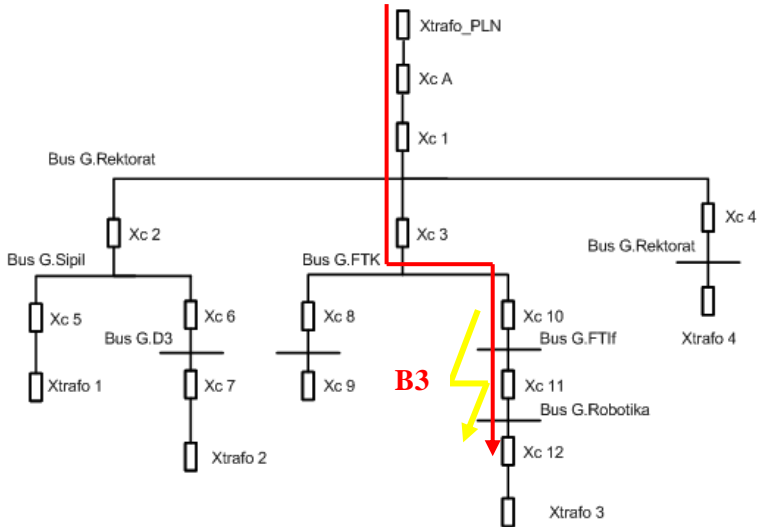
Impedansi arus kontribusi = X_{grid} , $X_{\text{Trafo PLN}}$, X_{cA} , X_{c1} , X_{c3} , X_{c10}

$MVA_{\text{base}} = 100 \text{ MVA}$; $X_{\text{Trafo PLN}} = 0,21$; $X_{cA} = 0,0457335 \text{ pu}$; $X_{c1} = 0,0008998 \text{ pu}$; $X_{c3} = 0,00205 \text{ pu}$; $X_{c10} = 0,0053846 \text{ pu}$

$$\begin{aligned}
 I_{sc} &= \frac{1}{X_{\text{Trafo PLN}} + X_{cA} + X_{c1} + X_{c3} + X_{c10}} \times \frac{MVA_{\text{Base}}}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,21 + 0,0457335 + 0,0008998 + 0,00205 + 0,0053846} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,2640679} \times 2,8867 \\
 &= 3,85 \text{ pu} \times 2,8867
 \end{aligned}$$

$I_{sc} = 11,11 \text{ kA}$; kapasitas *short circuit* CB 5 adalah sebesar **11,11 kA**

Short Circuit di Bus B3 Menghitung Kapasitas CB 6



Gambar 4.30 Diagram Impedansi *Short Circuit* di bus B3

Perhitungan

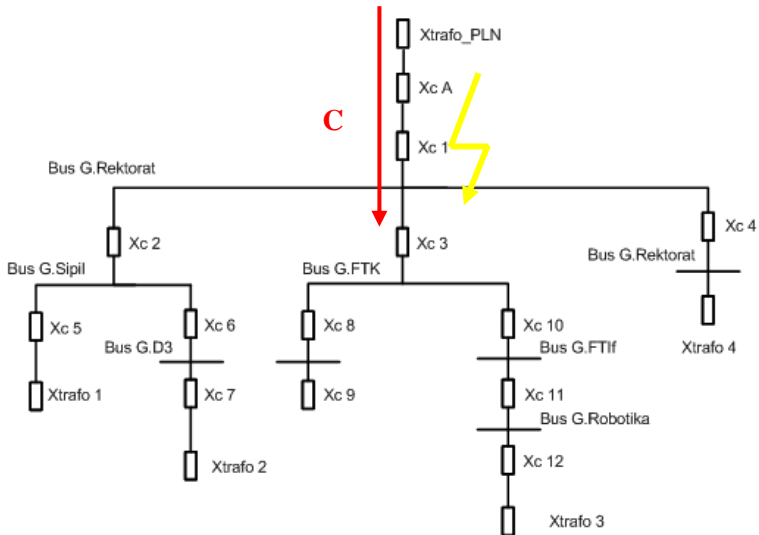
Impedansi arus kontribusi Sumber PLN = X_{grid} , $X_{Trafo\ PLN}$, X_{cA} , X_{c1} , X_{c3} , X_{c10} , X_{c11}

$X_{Trafo\ PLN} = 0,21$; $X_{cA} = 0,0457335$ pu ; $X_{c1} = 0,00089$ pu ; $X_{c3} = 0,00205$ pu ; $X_{c10} = 0,0053846$ pu ; $X_{c11} = 0,0100$ pu

$$\begin{aligned}
 I_{sc} &= \frac{1}{X_{grid} + X_{Trafo\ PLN} + X_{cA} + X_{c1} + X_{c3} + X_{c10}} \times \frac{MVA_{Base}}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,21 + 0,0457335 + 0,00089 + 0,00205 + 0,0053846 + 0,0100} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} \\
 &= \frac{1}{0,2740581} \times 2,8867 \\
 &= 3,7 \text{ pu} \times 2,8867
 \end{aligned}$$

$I_{sc} = 10,68$ kA ; kapasitas *short circuit* CB 6 adalah sebesar **10,68 kA**

Short Circuit di Bus C Menghitung Kapasitas CB 2



Gambar 4.31 Diagram Impedansi *Short Circuit* di bus C

Perhitungan

$$\text{Impedansi arus kontribusi Sumber PLN} = X_{\text{grid}}, X_{\text{Trafo PLN}}, X_{cA}, X_{c1}$$
$$\text{MVA}_{\text{base}} = 100 \text{ MVA} ; X_{\text{Trafo PLN}} = 0,21 ;$$
$$X_{c_A} = 0,0457335 \text{ pu} ; X_{c_1} = 0,0008998 \text{ pu} ;$$

$$\begin{aligned} \text{Isc} &= \frac{1}{X_{Trafo\ PLN} + X_{CA} + X_{c1}} \times \frac{MVA_{Base}}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= \frac{1}{0,21 + 0,0457335 + 0,0008998} \times \frac{100}{\sqrt{3} \times 20} \\ &= \frac{1}{0,2566333} \times 2,8867 \\ &= 3,89 \text{ pu} \times 2,8867 \end{aligned}$$

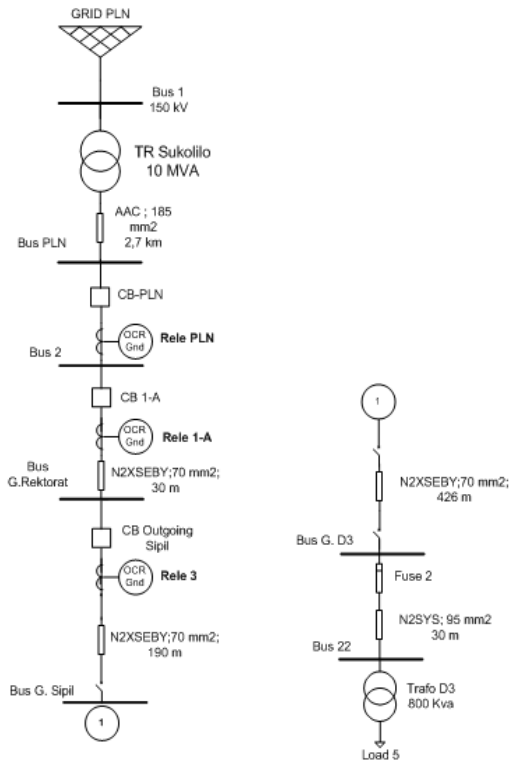
Isc = 11,25 kA ; kapasitas *short circuit* CB 2 adalah sebesar **11,25 kA**

4.9 Koordinasi Proteksi pada Kondisi Eksisting

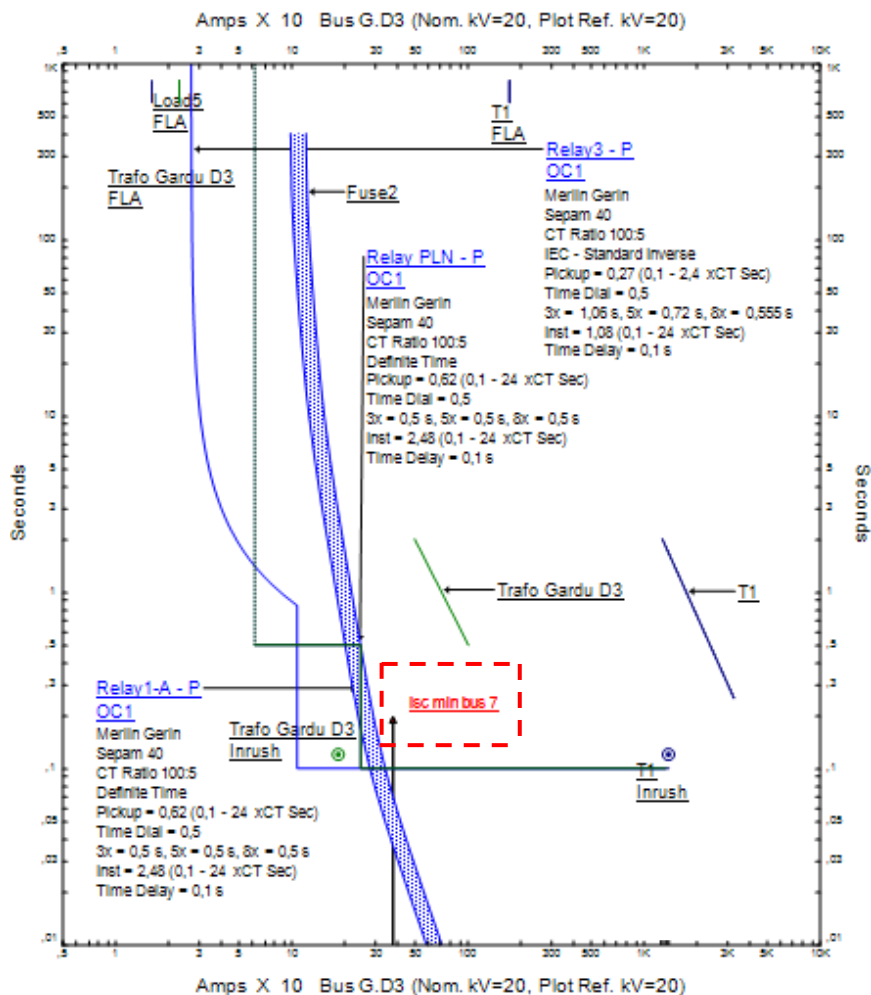
Untuk menganalisa koordinasi peralatan pengaman, diperlukan data *existing* yang kemudian harus dianalisa terlebih dahulu kelayakan koordinasi peralatan pengaman tersebut. Apabila terdapat kesalahan, maka yang harus dilakukan adalah penentuan peralatan pengaman yang baru dan kemudian di-*resetting* ulang hingga diperoleh koordinasi rele pengaman yang layak.

4.9.1 Koordinasi Proteksi Eksisting Rele Arus Lebih pada *Case 1*

Untuk koordinasi proteksi pada *existing case 1* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* Sipil dan *fuse* 2. *Case 1* dapat dilihat pada gambar 4.32 berikut ini :



Gambar 4.32 Eksisting *case 1* Rele *Overcurrent*



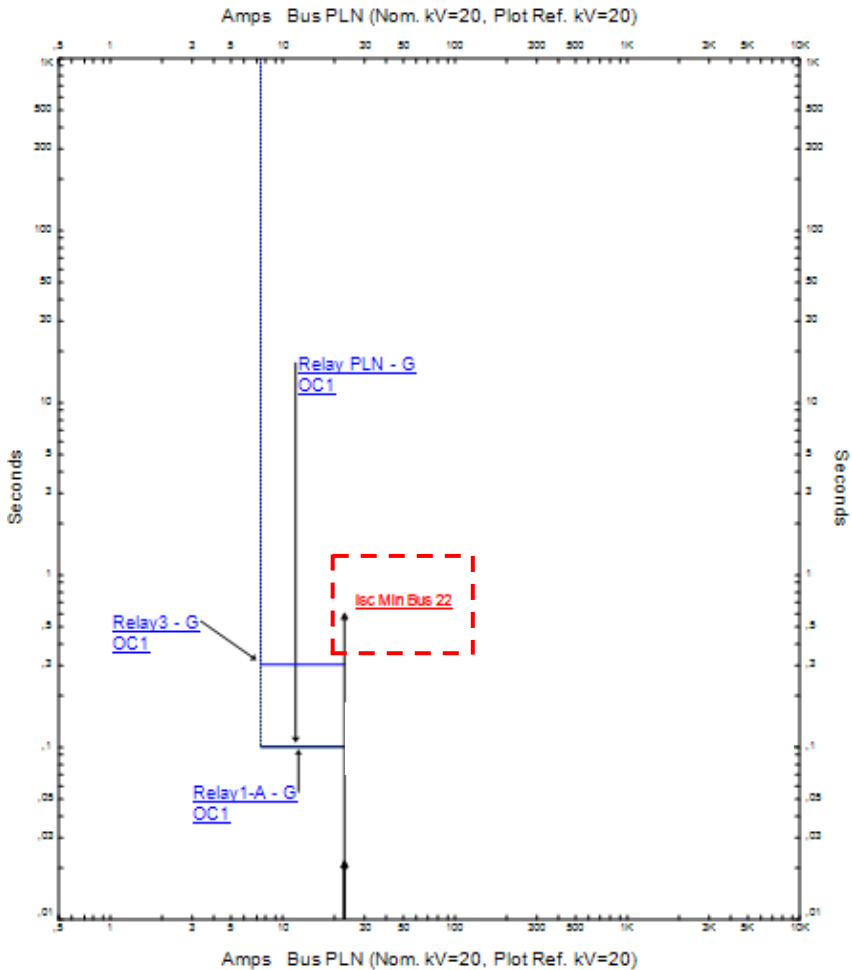
Gambar 4.33 Hasil Plot Eksisting Rele *Overcurrent case 1*

Dari hasil plot kurva *resetting* rele *overcurrent case 1* dapat kita lihat sebagai berikut :

1. Dari hasil plot kurva eksisting fasa *case 1* dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, karena ketika terjadi Isc minimum 30 *cycle* pada bus 7 mengenai *definit* rele 3 yang mengakibatkan rele bekerja secara langsung tanpa *delay*, yang seharusnya rele 3 berfungsi sebagai *backup* setelah *fuse 2* bekerja. Dan juga nilai *time delay* rele PLN dan rele 3 memiliki waktu operasi sama yaitu 0,1 s, sehingga apabila terjadi gangguan fasa maka rele PLN dan rele 3 akan *trip* secara bersamaan. Hal ini tidak boleh terjadi seharusnya rele 3 sebagai *backup* mengenai *invers* .Maka harus dilakukan *resetting* fasa tipikal 1.
2. Pada hasil plot ini, perlindungan trafo gardu D3 terhadap beban lebih (*overload*) belum dilengkapi dengan rele *overload*. *Fuse 2* hanya berfungsi melindungi trafo gardu D3 dari *overcurrent* saja. Saat terjadi beban lebih, maka peralatan trafo akan mengalami kerusakan dan mengurangi umur dari trafo itu sendiri
3. Saat terjadi gangguan *overcurrent*, rele PLN akan bekerja setelah *fuse 2*. Hal ini dapat mengakibatkan seluruh sistem kelistrikan di ITS akan terputus aliran dayanya. Tentunya ini sangat merugikan pihak ITS, mengingat gardu yang lain harus tetap tersuplai arus listrik agar dapat tetap melakukan kegiatan akademik dengan baik.

4.9.2 Koordinasi Proteksi Eksisting Rele *Groundfault* pada *Case 1*

Untuk koordinasi proteksi rele *groundfault* pada *existing case 1* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* Sipil dan *fuse 2*. Koordinasi rele *gorundfault Case 1* telah dijelaskan pada gambar eksisting *case 1* dapat dilihat pada gambar 4.34 berikut ini :

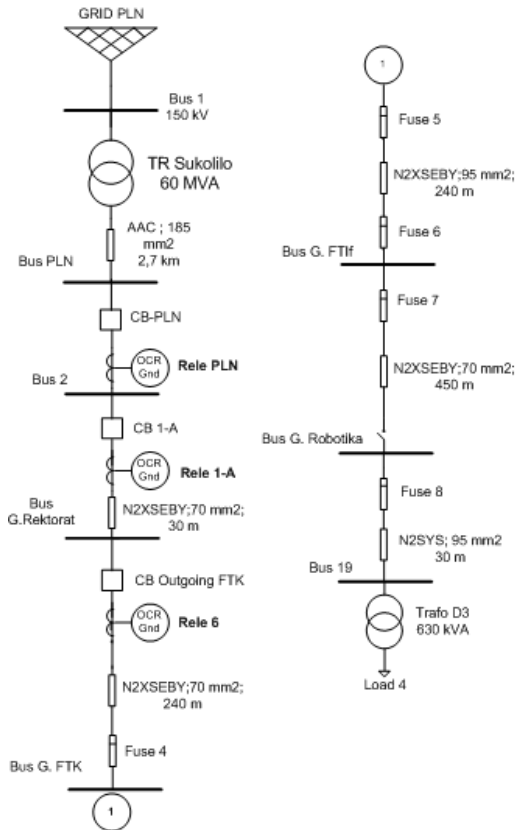


Gambar 4.34 Hasil Plot Eksisting Rele *Groundfault case 1*

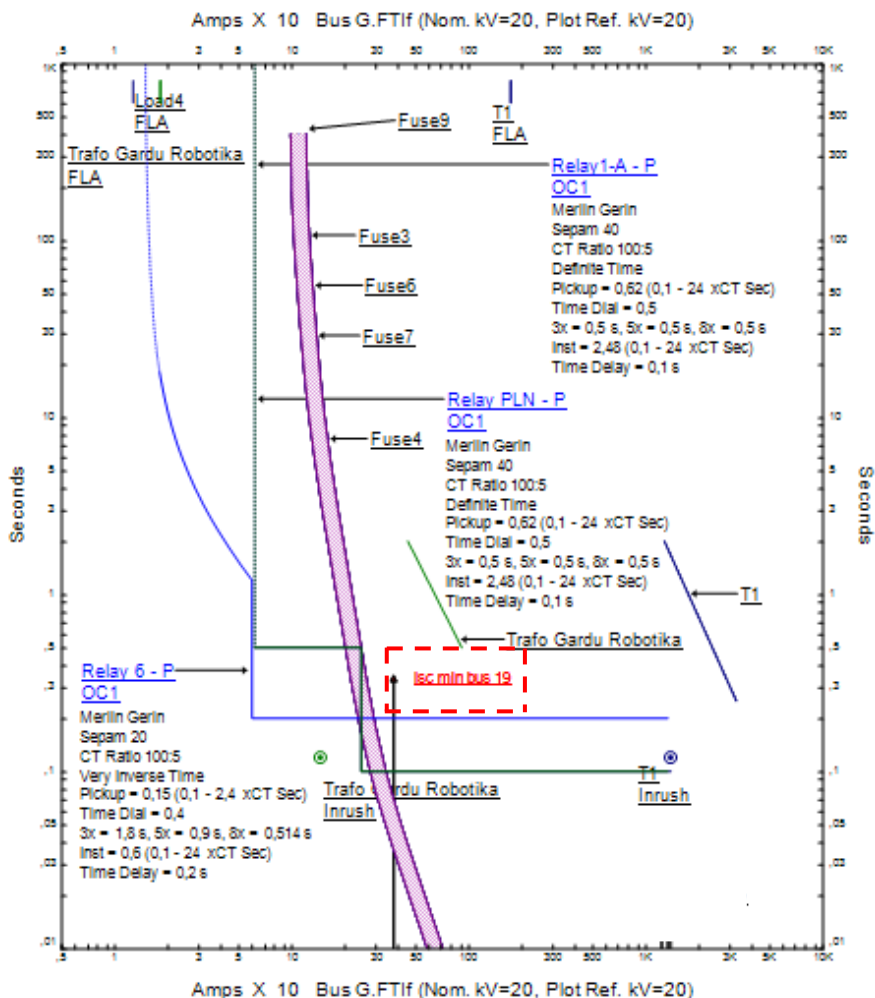
Terjadi koordinasi rele gangguan tanah yang kurang baik, karena saat terjadi Isc minimum di bus 7, maka rele 3 dan rele 1-A akan *trip* secara bersamaan. Hal ini dikarenakan waktu *grading* dari kedua rele ini sama, yaitu 0,1 s. Dan juga plot rele 3 nilai *time dial* tidak sama dengan *time delaynya*.

4.9.3 Koordinasi Proteksi Eksisting Rele Arus Lebih pada Case 2

Untuk koordinasi proteksi pada *existing case 1* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* FTK, *fuse 5*, *fuse 6*, *fuse 7*, dan *fuse 8*. *Case 2* dapat dilihat pada gambar 4.35 berikut ini :



Gambar 4.35 Eksisting *case 2* Rele *Overcurrent*



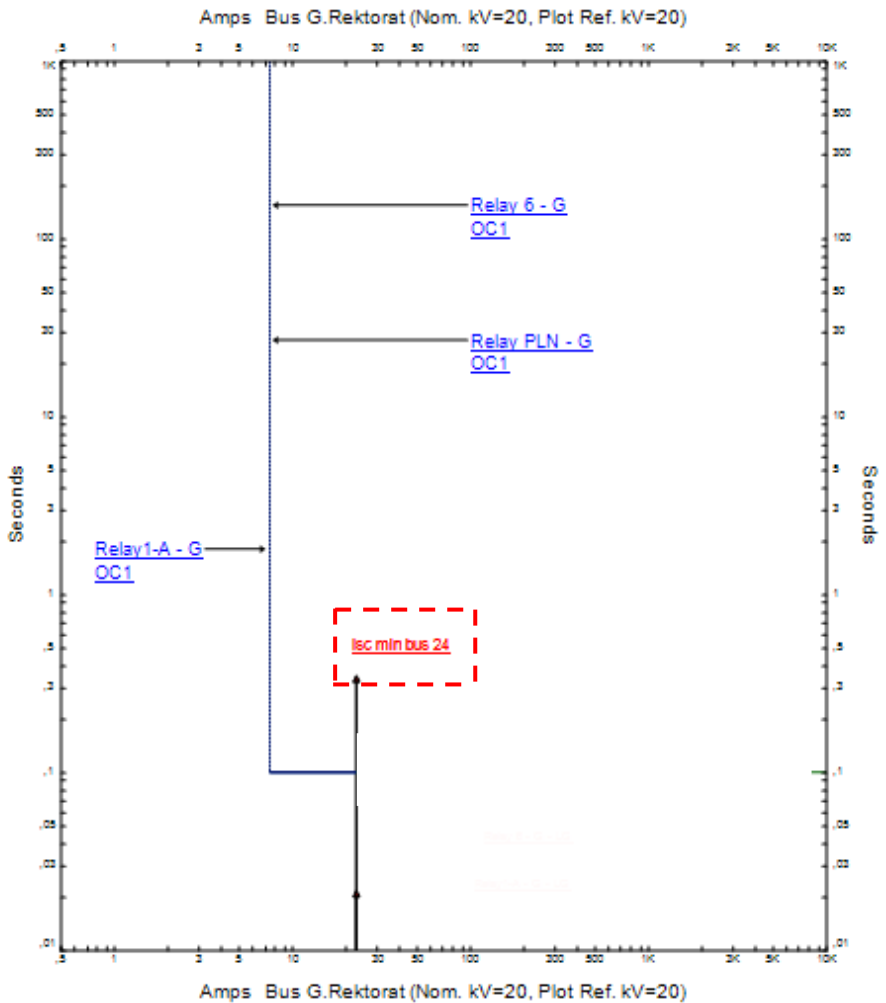
Gambar 4.36 Hasil Plot Eksisting Rele *Overcurrent case 2*

Dari hasil plot kurva *resetting* rele *overcurrent case 2* dapat kita lihat sebagai berikut :

1. Terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik, karena ketika terjadi Isc minimum 30 *cycle* pada bus 19, *fuse 6* akan bekerja dan tidak ada *back-up* yang mampu mengatasi apabila dalam suatu kondisi tertentu *fuse 6* tidak dapat bekerja dengan baik. Hal ini mengakibatkan sistem kelistrikan akan *trip*. Hal ini tidak boleh terjadi. Maka harus dilakukan *resetting* fasa tipikal 2.
2. Pada hasil plot ini, perlindungan trafo gardu D3 terhadap beban lebih (*overload*) belum dilengkapi dengan rele *overload*. *Fuse 9* hanya berfungsi melindungi trafo gardu Robotika dari *overcurrent* saja. Saat terjadi beban lebih, maka peralatan trafo akan mengalami kerusakan dan mengurangi umur dari trafo itu sendiri.
3. Belum adanya koordinasi yang baik. Mulai dari beban 4 (*Load 4*) hingga rele PLN perlindungan terhadap *overcurrent* hanya berupa *fuse*. *Fuse* hanya bekerja secara seketika apabila terjadi gangguan *overcurrent*, tanpa ada *grading time*. Pada plot tipikal 2 ini, besarnya nilai kapasitas/*rating fuse* baik *fuse 9*, *fuse 3*, *fuse 4*, *fuse 6* dan *fuse 7* adalah sama. Hal ini akan membuat *fuse* secara keseluruhan akan bekerja dan tidak ada *back-up* yang mampu mengatasi gangguan *overcurrent* disisi beban 4.
4. Saat terjadi gangguan *overcurrent*, rele 6 tidak mampu melakukan *back-up* terhadap *fuse 6* apabila *fuse 6* bekerja terlebih dahulu. Hal ini diakibatkan nilai *setting eksisting time dial* rele 6 yang lebih lambat daripada rele *incoming* ITS dan rele PLN. Nilai *setting eksisting time dial* rele 6 sebesar 0,2 s, sedangkan nilai *setting eksisting time dial* rele *incoming* ITS sebesar 0,1 s.

4.9.4 Koordinasi Proteksi Eksisting Rele *Groundfault* pada *Case 2*

Untuk koordinasi proteksi rele *groundfault* pada *existing case 1* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* FTK, *fuse 5*, *fuse 6*, *fuse 7*, dan *fuse 8*. Untuk koordinasi rele *groundfault case 2* dapat dilihat pada gambar 4.35 dan sedangkan untuk hasil plot kurva TCCnya dapat dilihat pada gambar 4.37 berikut ini :



Gambar 4.37 Hasil Plot Eksisting Rele *Groundfault* case 2

Secara *grading* plot eksisting dari rele ground ini ada yang kurang tepat, karena plot waktu *grading* dari rele 6 dan rele 1-A mempunyai waktu yang sama yaitu 0,1 s, sehingga saat ada gangguan ke tanah (Isc min bus 19), maka kedua rele ini akan beroperasi secara bersamaan.

Pada single line *eksisting case 2* ini, perlu adanya pergantian peralatan pengaman, yaitu *fuse 7, fuse 6, fuse 5, dan fuse 4*. Hal ini dikarenakan *fuse* tidak dapat dikoordinasikan dengan setting *time delay* dari rele PLN, sehingga bila terjadi gangguan rele PLN akan *trip* terlebih dahulu. Selain itu agar tercapai selektifitas, beberapa peralatan pengaman diganti dengan peralatan pengaman lainnya. Berikut pergantian pengaman peralatan pengaman :

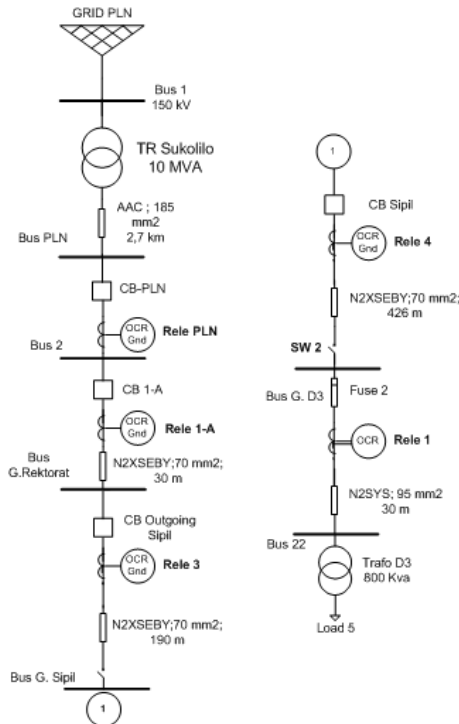
1. *Fuse 7* diganti dengan *circuit breaker*. *Circuit breaker* ini mampu mem-backup *fuse 8* bila terjadi gangguan pada beban trafo sekunder robotika.
2. *Fuse 6* diganti dengan *switch (LBS)*. Hal ini bertujuan agar apabila terjadi gangguan pada gardu FTIf, aliran daya yang menuju gardu FTIf dapat diputus dengan cara *switch* di *normally open*. Sehingga gardu-gardu lain pada sistem kelistrikan ITS tidak ikut *trip* dan dapat dilakukan *maintenance* pada gardu FTIf.
3. *Fuse 5* diganti dengan *circuit breaker*. *Circuit breaker* ini mampu mem-backup *fuse 8* dan *circuit breaker* yang mengganti peran *fuse 7*.
4. *Fuse 4* diganti dengan *switch (LBS)*. Hal ini bertujuan agar apabila terjadi gangguan pada gardu FTIf / gardu robotika, aliran daya yang menuju gardu FTIf / gardu robotika dapat diputus dengan cara *switch* di *normally open*. Sehingga gardu-gardu lain pada sistem kelistrikan ITS tidak ikut *trip* dan dapat dilakukan *maintenance* pada gardu FTIf / gardu robotika yang sedang mengalami gangguan.
5. Nilai *time delay* dari rele pada *circuit breaker* ini adalah dimulai dari rele pada *circuit breaker* yang menggantikan *fuse 7* sebesar 0,1, kemudian rele pada *circuit breaker* yang menggantikan *fuse 5* sebesar 0,3, rele pada *circuit breaker outgoing* gardu FTK sebesar 0,5, rele pada *circuit breaker incoming* PLN dan rele pada *circuit breaker* PLN sebesar 0,7.
6. Perlu ditambahkan rele *overload* pada sisi primer trafo gardu robotika. Dengan mengaktifkan nilai *lowset* pada sisi rele *overload*, trafo dan beban peralatan yang ada di sisi sekunder trafo gardu robotika dapat diamankan dan terhindar dari kerusakan akibat beban lebih (*overload*). Nantinya rele *overload* ini bekerja dan men-*normally open* *Load Breaking Switch (LBS)* pada sisi *incoming* gardu Robotika. Sehingga saat terjadi gangguan *overload*, *LBS* ini akan memutus aliran arus yang menuju beban 4.

4.10 Koordinasi Proteksi pada Kondisi *Resetting*

Dari hasil analisa pada sub-bab sebelumnya, terdapat peralatan pengaman yang perlu ditambahkan, *setting* dan koordinasi proteksi yang perlu diperbaiki. Oleh karena itu, pada sub-bab ini akan dibahas mengenai peralatan pengaman yang perlu diganti, *rating* peralatan (*Breaker*) dan kondisi *resetting* rele pengaman dengan perhitungan manual untuk menentukan koordinasi proteksi.

4.10.1 Koordinasi Proteksi Baru Rele Arus Lebih pada *case 1*

Untuk koordinasi proteksi baru rele arus lebih pada *case 1* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* Sipil, CB Sipil, dan *fuse* 2. *Case 1* dapat dilihat pada gambar 4.38 berikut ini :



Gambar 4.38 Koordinasi Proteksi Baru Rele *Overcurrent* pada *Case 1*

Berikut ini merupakan perhitungan rele-rele yang akan disetting dan parameter dari masing-masing rele pada tipikal 1 :

✓ **Rele 1**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: SEPAM T20
FLA Primer Trafo G.D3	: 23,09 A
Isc min 30 cycle G.D3	: 9,42 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 50 / 5

Time Overcurrent Pickup

$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo G.D3} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer Trafo G.D3}$

$$1,05 \times 23,09 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 23,09$$

$$24,24 \leq \text{Iset} \leq 32,33$$

$$\frac{24,24}{50} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{32,33}{50}$$

$$0,48 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,65 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,5 In

Iset = 25 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc max 4 cycle Gardu D3 = 10,88 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{10880}{32}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

TD = 0,26

✓ **Rele 4**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: SEPAM T20
FLA Primer Trafo G.D3	: 23,09 A
Isc min 30 cycle G.D3	: 9,38 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer Trafo G.D3} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer Trafo G.D3}$$

$$1,05 \times 23,09 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 23,09$$

$$24,24 \leq I_{set} \leq 32,33$$

$$\frac{24,24}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{32,33}{100}$$

$$0,24 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,32 I_n$$

Dipilih Tap = 0,25 I_n

$I_{set} = 25 \text{ A}$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc max 4 cycle Gardu D3 = 10,84 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{10840}{32}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 0,26$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin 30 cycle Gardu D3}$$

$$1,6 \times 23,09 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 9380$$

$$36,94 \leq \text{Iset} \leq 7504$$

$$\frac{36,94}{100} \text{In} \leq \text{Tap} \leq \frac{7504}{100}$$

$$0,3694 \text{In} \leq \text{Tap} \leq 75,04 \text{In}$$

Dipilih Tap = 5,9 In

Iset = 590 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

✓ **Rele 3**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : SEPAM T20

FLA Bus Gardu Rektorat : 32 A

Isc min 30 cycle G.Sipil : 9,62 kA

Curve Type : IEC – *Standard Inverse*

CT Ratio : 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Bus G. Rektorat} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA Bus G.Rektorat}$$

$$1,05 \times 32 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 32$$

$$33,6 \leq \text{Iset} \leq 44,8$$

$$\frac{33,6}{100} \text{In} \leq \text{Tap} \leq \frac{44,8}{100}$$

$$0,36 \text{In} \leq \text{Tap} \leq 0,45 \text{In}$$

Dipilih Tap = 0,40 In

Iset = 40 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc max 4 cycle Gardu Sipil = 11,11 kA

$$t = \frac{k}{(I/I_{pickup})^\alpha - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{(11110/40)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 0,76$$

Instantaneous Pickup

1,6 x FLA Bus G.Rektor \leq Iset \leq 0,8 x Iscmin 30 cycle G.Sipil

$$1,6 \times 32 \leq Iset \leq 0,8 \times 9620$$

$$51,2 \leq Iset \leq 7696$$

$$\frac{51,2}{100} In \leq Tap \leq \frac{7696}{100}$$

$$0,51 In \leq Tap \leq 76,96 In$$

Dipilih Tap = 7 In

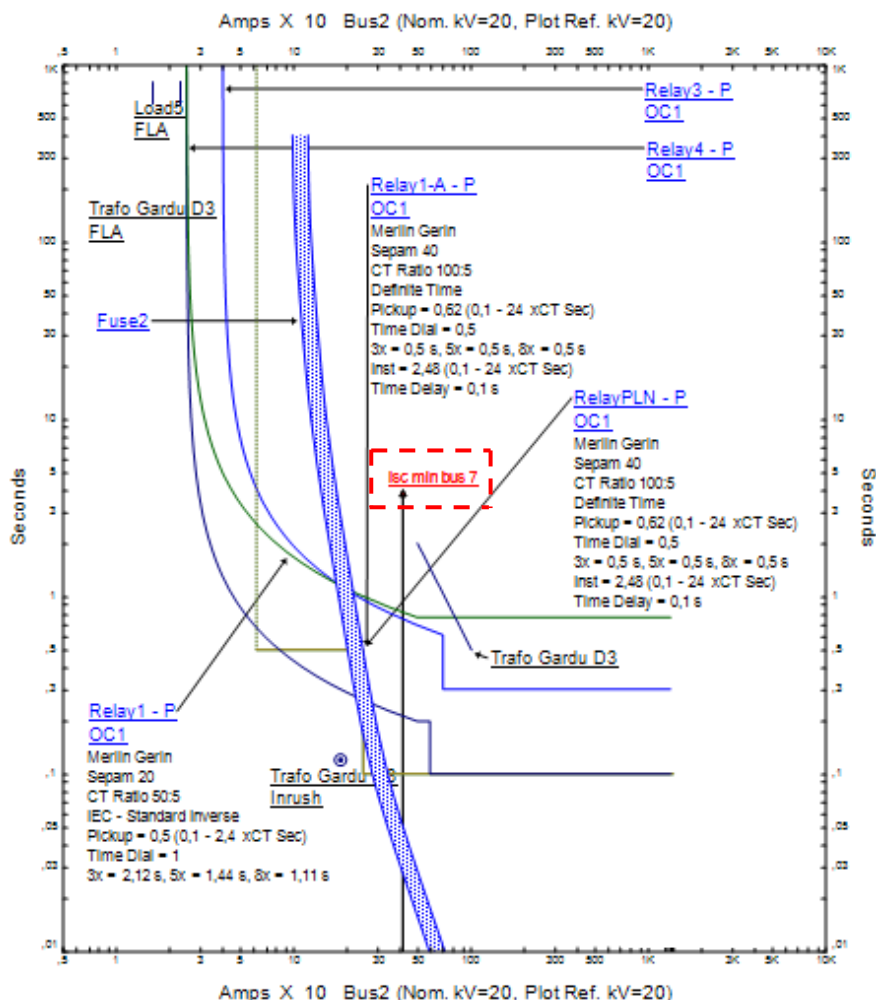
Iset = 700 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,3 s

Pada nilai *eksisting* sistem kelistrikan ITS, nilai *time delay* pada rele PLN tidak dapat berubah. Dalam arti, pihak ITS tidak memiliki kewenangan dalam merubah setting rele PLN. Namun, dalam tugas akhir ini penulis akan mencoba memperlihatkan perhitungan manual beserta kurva TCCnya apabila tetap menggunakan nilai *eksisting* PLN apakah masih memenuhi syarat koordinasi atau tidak dan berikut hasil koordinasi proteksi yang baru :

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dengan setting *eksisting* rele PLN dapat dilihat pada Gambar 4.39 dibawah ini :

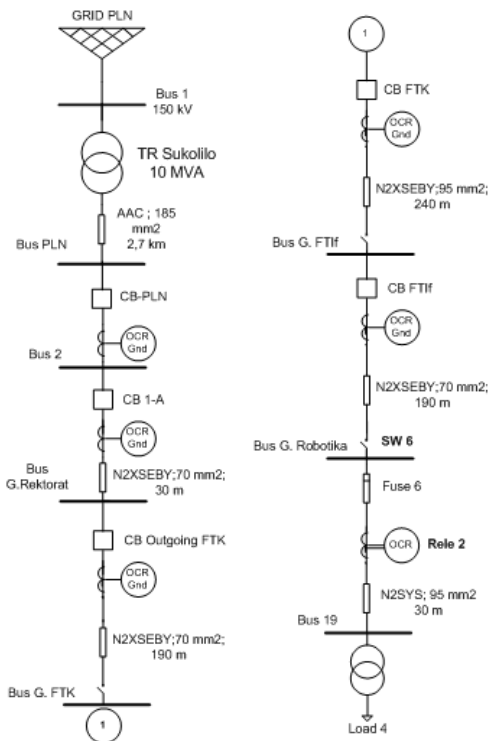


Gambar 4.39 Hasil Plot Rele *Overcurrent Case 1* dengan Eksisting Rele PLN

1. Terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik bila menggunakan *setting* rele PLN, karena ketika terjadi I_{sc} minimum 30 *cycle* pada bus 7, rele PLN akan bekerja setelah *fuse* 2. Dalam plot ini, rele 4 tidak dapat mem-*backup fuse* 2. Hal ini mengakibatkan seluruh sistem kelistrikan akan *trip*. Hal ini tidak boleh terjadi. Maka harus dilakukan *resetting* fasa tipikal 1.
2. Rele *incoming* ITS dan rele PLN *trip* terlebih dahulu setelah *fuse* 2 bekerja dikarenakan nilai *setting* waktu operasi untuk rele *incoming* ITS dan rele PLN adalah *definit* 0,1 s (berdasarkan data *eksisting* ITS).
3. Dalam hal ini, rele PLN tidak dapat di *setting* ulang. Pada plot ini rele PLN mengikuti *setting eksisting* yang ada sebelumnya. Namun, apabila rele PLN ini tidak di *setting* ulang, maka koordinasi rele pada tipikal 2 ini ketika ada gangguan fasa, maka rele PLN akan *trip* setelah *fuse* 6, artinya perlu adanya *setting* ulang agar rele PLN ini dapat di koordinasikan dengan rele 4, rele 3, dan rele 1-A (*incoming* ITS).
4. Kewenangan merubah *setting* rele PLN sepenuhnya berada pada pihak ITS. Dalam tugas akhir ini penulis mencoba melakukan *setting* perhitungan ulang rele PLN agar dapat dikoordinasikan dengan rele-rele yang lain, sehingga apabila terjadi gangguan rele PLN tidak akan *trip* setelah *fuse* 2 bekerja, dan sistem kelistrikan ITS dapat tetap tersuplai daya listrik.
5. Perhitungan *setting* rele PLN ini dapat dilihat pada point koordinasi proteksi yang baru rele arus lebih pada tipikal 1 dengan *setting* ulang rele PLN.
6. Dalam kenyataannya, perlu dilakukan koordinasi ulang dengan pihak PLN karena yang memiliki ororitas dalam merubah *setting* rele PLN adalah pihak PLN itu sendiri. Namun, perhitungan yang telah penulis lakukan dalam tugas kahir ini dapat dijadikan pertimbangan untuk melakukan koordinasi yang lebih baik pada sistem kelistrikan ITS khususnya pada bagian tipikal 1 ini.

4.10.2 Koordinasi Proteksi Baru Rele Arus Lebih pada *case 2*

Untuk koordinasi proteksi baru rele arus lebih pada *case 2* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* FTK, CB FTK, CB FTIf, *Switch* 6 dan *fuse* 6. *Case 2* dapat dilihat pada gambar 4.40 berikut ini :



Gambar 4.40 Koordinasi Proteksi Baru Rele *Overcurrent* pada *Case 2*

Berikut ini merupakan perhitungan rele-rele yang akan disetting dan parameter dari masing-masing rele pada tipikal 2 :

✓ **Rele 2**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: SEPAM T20
FLA Primer Trafo G.D3	: 18,19 A
Isc min 30 cycle G.D3	: 9,31 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 50 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer T. G.Robot} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer T. G.Robo}$$

$$1,05 \times 18,19 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 18,19$$

$$19,1 \leq I_{set} \leq 25,47$$

$$\frac{19,1}{50} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{25,47}{50}$$

$$0,38 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,51 I_n$$

Dipilih Tap = 0,5 In

I_{set} = 25 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc max 4 cycle Gardu Robotika = 10,71 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{10710}{25}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 1$$

✓ **Rele 8**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: SEPAM T20
FLA Primer Trafo G.Robotika	: 18,19 A
Isc min 30 <i>cycle</i> G.Robotika	: 9,27 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Primer T. G.Robot} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Primer T. G.Robo}$$

$$1,05 \times 18,19 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 18,19$$

$$19,1 \leq I_{set} \leq 25,47$$

$$\frac{19,1}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{25,47}{100}$$

$$0,19 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,25 I_n$$

Dipilih Tap = 0,19 In

Iset = 19 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,1 detik

Isc max 4 *cycle* Gardu Robotika = 10,71 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,1 = \frac{0,14}{\left(\frac{10710}{25}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 0,27$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Primer T. Robotika} \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times \text{Iscmin G.Robotika}$$

$$1,6 \times 18,19 \leq \text{Iset} \leq 0,8 \times 9270$$

$$29,104 \leq \text{Iset} \leq 7416$$

$$\frac{29,104}{100} \text{In} \leq \text{Tap} \leq \frac{7416}{100}$$

$$0,29104 \text{In} \leq \text{Tap} \leq 74,16 \text{In}$$

Dipilih Tap = 4,7 In

Iset = 470 A

Time delay

Dipilih *time delay* = 0,1 s

✓ **Rele 7**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : SEPAM T20

FLA Bus Gardu FTK : 12,6 A

Isc min 30 cycle G.FTK : 9,5 kA

Curve Type : IEC – Standard Inverse

CT Ratio : 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Bus G. FTK} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA Bus G.FTK}$$

$$1,05 \times 12,6 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 12,6$$

$$13,23 \leq \text{Iset} \leq 17,64$$

$$\frac{13,23}{100} \text{In} \leq \text{Tap} \leq \frac{17,64}{100}$$

$$0,13 \text{In} \leq \text{Tap} \leq 0,18 \text{In}$$

Dipilih Tap = 0,18 In

Iset = 18 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,3 detik

Isc max 4 cycle Gardu FTIf = 10,97 kA

$$t = \frac{k}{(I/I_{pickup})^\alpha - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,3 = \frac{0,14}{(10970/15)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 0,89$$

Instantaneous Pickup

1,6 x FLA Bus G.FTK ≤ Iset ≤ 0,8 x Iscmin 30 cycle G. FTIf

$$1,6 \times 12,6 \leq Iset \leq 0,8 \times 9500$$

$$20,16 \leq Iset \leq 7600$$

$$\frac{20,16}{100} In \leq Tap \leq \frac{7600}{100}$$

$$0,20 In \leq Tap \leq 76 In$$

Dipilih Tap = 5,2 In

Iset = 520 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,3 s

✓ **Rele 6**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: SEPAM T20
FLA Bus Gardu Rektorat	: 28,6 A
Isc min 30 cycle G.FTK	: 9,6 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 75 / 5

Time Overcurrent Pickup

1,05 x FLA Bus G. Rektorat ≤ Iset ≤ 1,4 x FLA Bus G.Rektorat

$$1,05 \times 28,6 \leq Iset \leq 1,4 \times 28,6$$

$$30,03 \leq I_{set} \leq 40,4$$

$$\frac{30,03}{75} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{40,4}{75}$$

$$0,4 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,53 I_n$$

Dipilih Tap = 0,5 In

Iset = 37,5 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,5 detik

Isc max 4 cycle Gardu FTK = 11,08 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}} \right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,5 = \frac{0,14}{\left(\frac{11080}{37,5} \right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 1,28$$

Instantaneous Pickup

1,6 x FLA Bus G.Rektor $\leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin}$ 30 cycle G.FTK

$$1,6 \times 28,6 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 9600$$

$$45,76 \leq I_{set} \leq 7680$$

$$\frac{45,76}{75} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{7680}{75}$$

$$0,87 I_n \leq \text{Tap} \leq 102 I_n$$

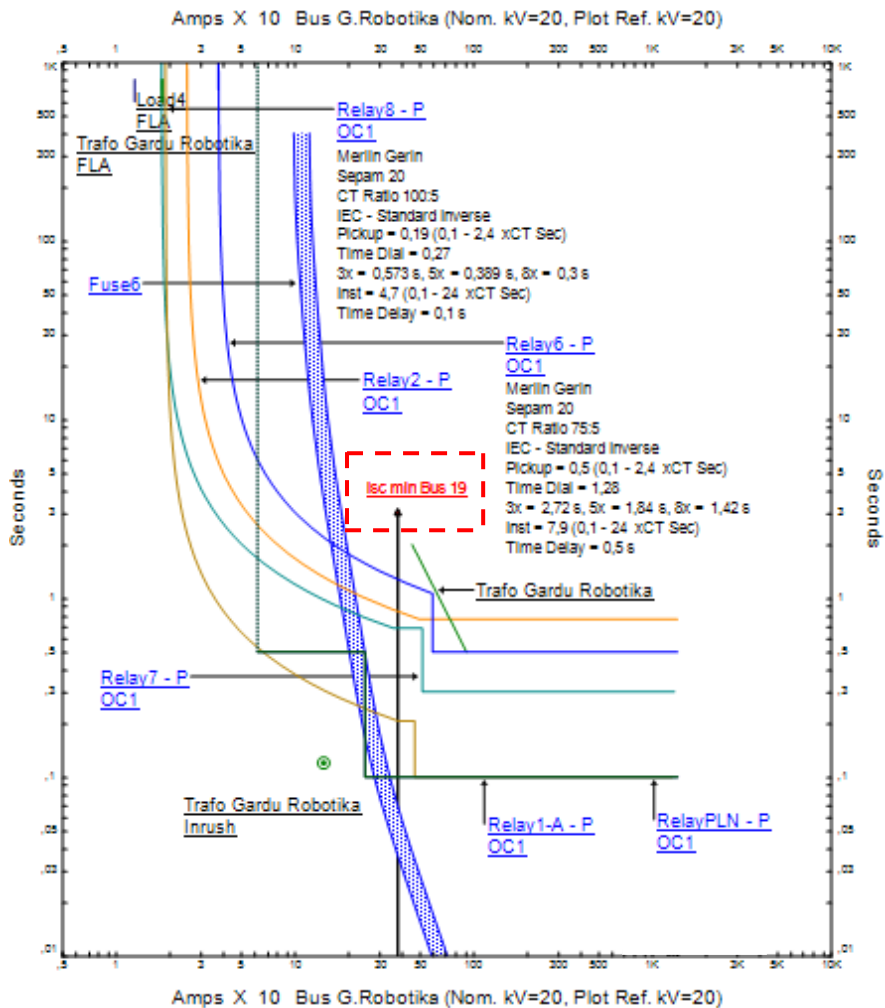
Dipilih Tap = 7,9 In

Iset = 592,5 A

Time delay

Dipilih time delay = 0,5 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dengan setting *eksisting* rele PLN dapat dilihat pada Gambar 4.41 dibawah ini :



Gambar 4.41 Hasil Plot Eksisting Rele *Overcurrent Case 2* dengan Eksisting Rele PLN

Dari hasil plot kurva *resetting* rele *overcurrent case 2* dapat kita lihat sebagai berikut :

1. Terjadi koordinasi proteksi yang kurang baik bila menggunakan *setting* rele PLN, karena ketika terjadi *Isc* minimum 30 *cycle* pada bus 19, rele PLN akan bekerja mengenai *definite time* setelah *fuse* 6. Dalam plot ini, rele 8 tidak dapat mem-*backup fuse* 2. Hal ini mengakibatkan seluruh sistem kelistrikan akan *trip*. Hal ini tidak boleh terjadi. Maka harus dilakukan *resetting* fasa PLN tipikal 2.
2. Dalam hal ini, rele PLN tidak dapat di *setting* ulang. Permasalahan ini sama seperti pada permasalahan tipikal 1. Pada plot ini rele PLN mengikuti *setting eksisting* yang ada sebelumnya. Namun, apabila rele PLN ini tidak di *setting* ulang, maka koordinasi rele pada tipikal 2 ini ketika ada gangguan fasa, maka rele PLN akan *trip* setelah *fuse* 6, artinya perlu adanya *setting* ulang agar rele PLN ini dapat di koordinasikan dengan rele 8, rele 7, rele 6, dan rele 1-A (*incoming ITS*).
3. Kewenangan merubah *setting* rele PLN sepenuhnya berada pada pihak ITS. Dalam tugas akhir ini penulis mencoba melakukan *setting* perhitungan ulang rele PLN agar dapat dikoordinasikan dengan rele-rele yang lain, sehingga apabila terjadi gangguan rele PLN tidak akan *trip* setelah *fuse* 6 bekerja, dan sistem kelistrikan ITS dapat tetap tersuplai daya listrik.
4. Perhitungan *setting* rele PLN ini dapat dilihat pada point koordinasi proteksi yang baru rele arus lebih pada *case 2* dengan *setting* ulang rele PLN.
5. Dalam kenyataannya, perlu dilakukan koordinasi ulang dengan pihak PLN karena yang memiliki ororitas dalam merubah *setting* rele PLN adalah pihak PLN itu sendiri. Namun, perhitungan yang telah penulis lakukan dalam tugas kahir ini dapat dijadikan pertimbangan untuk melakukan koordinasi yang lebih baik pada sistem kelistrikan ITS khususnya pada bagian tipikal 2 ini.

4.10.3 Koordinasi Proteksi baru Rele Arus Lebih pada *case 1* dengan *Setting Ulang Rele PLN*

Dengan memperhatikan hasil plot pada *case 1* gambar 4.39, berikut adalah setting ulang rele PLN agar koordinasi rele dapat berjalan dengan baik :

✓ **Rele 1-A**

<i>Manufacturer</i>	: Merlin Gerin
<i>Model</i>	: SEPAM T42
FLA Bus Grid PLN	: 63 A
Isc min 30 cycle G.Rektorat	: 9,71 kA
<i>Curve Type</i>	: IEC – <i>Standard Inverse</i>
<i>CT Ratio</i>	: 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Bus Grid PLN} \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times \text{FLA Bus Grid PLN}$$

$$1,05 \times 63 \leq \text{Iset} \leq 1,4 \times 63$$

$$66,15 \leq \text{Iset} \leq 88,2$$

$$\frac{66,15}{100} \text{ In} \leq \text{Tap} \leq \frac{88,2}{100}$$

$$0,66 \text{ In} \leq \text{Tap} \leq 0,88 \text{ In}$$

Dipilih Tap = 0,60 In

Iset = 60 A

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max 4 cycle Gardu Rektorat = 11,22 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$

$$0,7 = \frac{0,14}{\left(\frac{11220}{80}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 1,54$$

Instantaneous Pickup

$$1,6 \times \text{FLA Bus Grid PLN} \leq I_{set} \leq 0,8 \times I_{scmin} \text{ 30 cycle G.Rektorat}$$

$$1,6 \times 63 \leq I_{set} \leq 0,8 \times 9710$$

$$100,8 \leq I_{set} \leq 7768$$

$$\frac{100,8}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{7768}{100}$$

$$1,8 I_n \leq \text{Tap} \leq 77,68 I_n$$

Dipilih Tap = 7,7 In

$$I_{set} = 770 \text{ A}$$

✓ **Rele PLN**

Manufacturer : Merlin Gerin

Model : SEPAM T42

FLA Bus Grid PLN : 63 A

Isc min 30 cycle G.Rektorat : 9,73 kA

Curve Type : IEC – Standard Inverse

CT Ratio : 100 / 5

Time Overcurrent Pickup

$$1,05 \times \text{FLA Bus Grid PLN} \leq I_{set} \leq 1,4 \times \text{FLA Bus Grid PLN}$$

$$1,05 \times 63 \leq I_{set} \leq 1,4 \times 63$$

$$66,15 \leq I_{set} \leq 88,2$$

$$\frac{66,15}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{88,2}{100}$$

$$0,66 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,88 I_n$$

Dipilih Tap = 0,60 In

$$I_{set} = 60 \text{ A}$$

Time Dial

Dipilih waktu operasi (t) = 0,7 detik

Isc max 4 cycle Gardu Rektorat = 11,23 kA

$$t = \frac{k}{\left(\frac{I}{I_{pickup}}\right)^{\alpha} - 1} \times \frac{TD}{\beta}$$
$$0,7 = \frac{0,14}{\left(\frac{11230}{80}\right)^{0,02} - 1} \times \frac{TD}{2,97}$$

$$TD = 1,54$$

Instantaneous Pickup

1,6 x FLA Bus Grid PLN ≤ Iset ≤ 0,8 x Iscmin 30 cycle G.Rektorat

$$1,6 \times 63 \leq Iset \leq 0,8 \times 9730$$

$$100,8 \leq Iset \leq 7784$$

$$\frac{100,8}{100} In \leq Tap \leq \frac{7784}{100}$$

$$1,8 In \leq Tap \leq 77,84 In$$

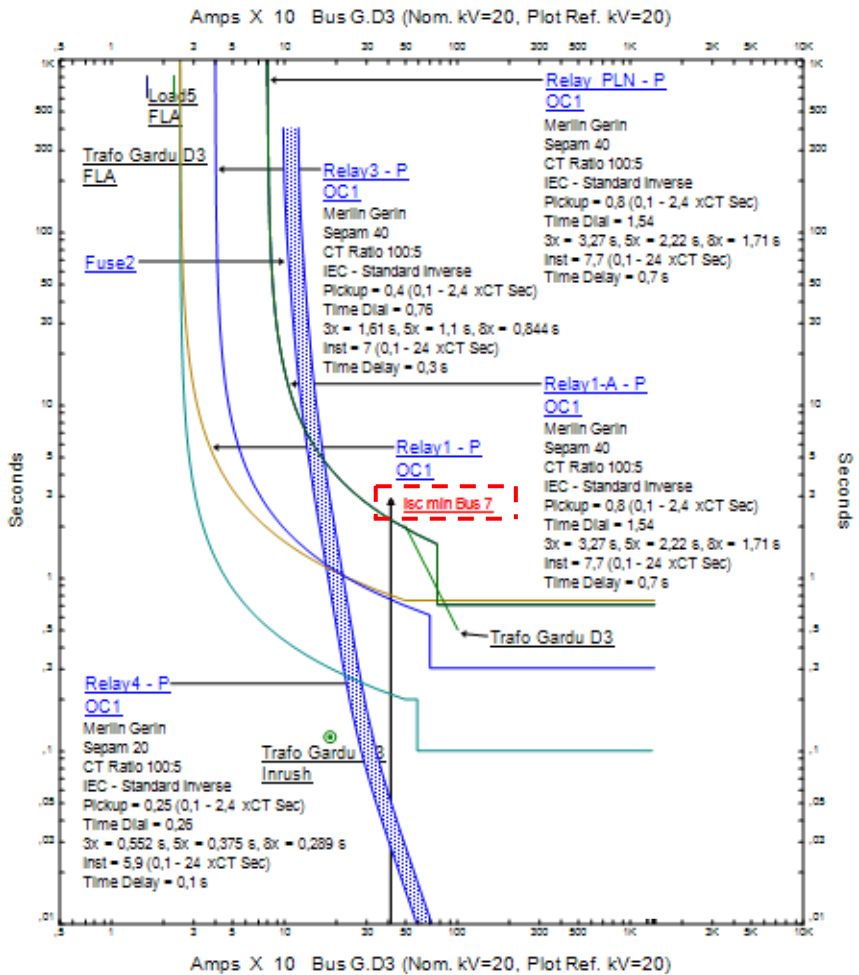
Dipilih Tap = 7,7 In

$$Iset = 770 \text{ A}$$

Time delay

Dipilih time delay = 0,7 s

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele dengan setting *eksisting* rele PLN dapat dilihat pada Gambar 4.42 dibawah ini :



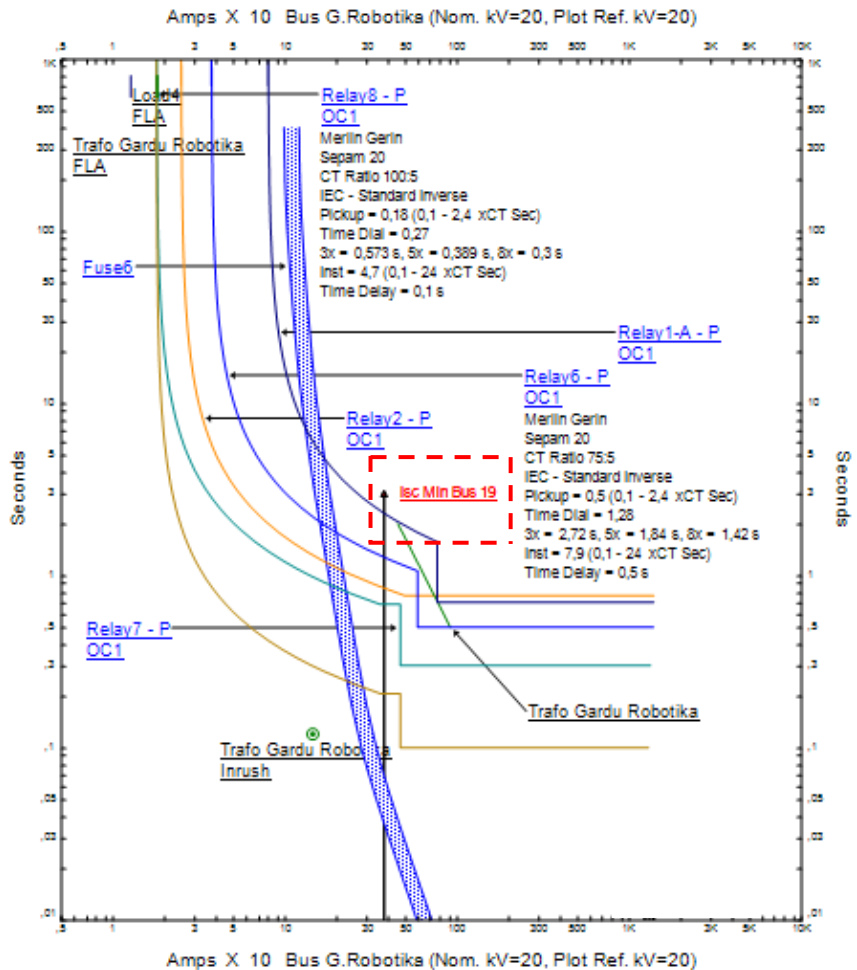
Gambar 4.42 Hasil Plot Rele *Overcurrent Case 1*
dengan *Resetting Rele PLN*

Dari hasil plot kurva *resetting rele overcurrent case 1* dapat kita lihat sebagai berikut :

1. Terjadi koordinasi proteksi yang lebih baik bila menggunakan *resetting* rele PLN, karena ketika terjadi I_{sc} minimum 30 *cycle* pada bus 7, *fuse* 2 akan bekerja dan Rele 3 akan *mem-backup* kerja *fuse* 2. Berbeda dengan menggunakan *setting eksisting* PLN sebelumnya, setelah dilakukan *resetting* PLN dengan waktu *time delay* mengikuti setting ulang dari rele 3 dan rele 4, rele PLN tidak akan bekerja seketika dan mengenai *invers time*.
2. Pada hasil plot ini, perlindungan trafo gardu D3 dilengkapi dengan rele *overload*. Apabila trafo gardu D3 mengalami beban lebih, maka rele *overload* ini (rele 1) akan bekerja dan memutus *Load Breaking Switch* (LBS) pada sisi *incoming* yang melindungi gardu D3. Sehingga trafo dan beban peralatan disisi sekunder trafo dapat diamankan dan terhindar dari kerusakan akibat beban lebih.
3. Saat terjadi gangguan *overcurrent*, *fuse* akan bekerja, keudian *back-up* adalah rele 4, yang kemudian melakukan *sensing* dan *normally open circuit breaker* DM1A. *Setting time delay* pada masing-masing rele adalah dimulai dari *fuse* 2 yang bekerja seketika, kemudian rele 4 sebesar 0,1 s, rele 3 0,3 s, dan rele 1-A dan rele PLN sebesar 0,7 s

4.10.3 Koordinasi Proteksi baru Rele Arus Lebih pada case 2 dengan Setting Ulang Rele PLN

Dengan memperhatikan hasil plot pada *case 2* gambar 4.43. Berikut adalah setting ulang rele PLN agar koordinasi rele dapat berjalan dengan baik :



Gambar 4.43 Hasil Plot *Eksisting Rele Overcurrent Case 2* dengan *Resetting Rele PLN*

Dari hasil plot kurva *resetting rele overcurrent case 2* dapat kita lihat sebagai berikut :

1. Dari hasil plot kurva *resetting fasa case 2* dapat kita lihat terjadi koordinasi proteksi yang lebih baik bila menggunakan *resetting rele*

PLN, karena ketika terjadi *Isc* minimum 30 *cycle* pada bus 19, *fuse* 6 akan bekerja dan Rele 8 akan mem-*backup* kerja *fuse* 6. Berbeda dengan menggunakan *setting eksisting* PLN sebelumnya, setelah dilakukan *resetting* PLN dengan waktu *time delay* mengikuti *setting* ulang dari rele 8, rele 7, dan rele 6. Rele PLN tidak akan bekerja seketika dan mengenai *invers time*.

2. Pada hasil plot ini, perlindungan trafo gardu Robotika dilengkapi dengan rele *overload*. Apabila trafo gardu Robotika mengalami beban lebih, maka rele *overload* ini (rele 1) akan bekerja dan memutus *Load Breaking Switch* (LBS) pada sisi *incoming* yang melindungi gardu Robotika. Sehingga trafo dan beban peralatan disisi sekunder trafo dapat diamankan dan terhindar dari kerusakan akibat beban lebih.
3. Saat terjadi gangguan *overcurrent*, *fuse* akan bekerja, keudian *back-up* adalah rele 8, yang kemudian melakukan *sensing* dan *normally open circuit breaker* DM1A4. *Setting time* delay pada masing-masing rele adalah dimulai dari *fuse* 2 yang bekerja seketika, kemudian rele 8 sebesar 0,1 s, rele 7 sebesar 0,3 s, rele 6 sebesar 0,5 s, rele 1-A dan rele PLN sebesar 0,7 s.

4.11 Koordinasi Rele Arus Lebih Gangguan ke Tanah

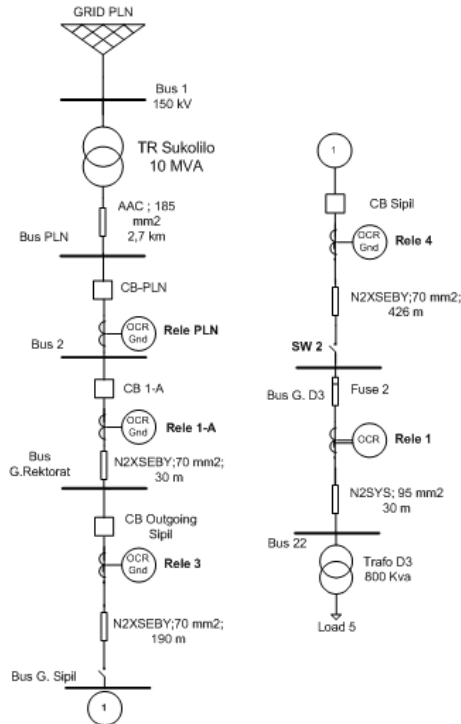
Rele arus lebih gangguan tanah berfungsi untuk melindungi saat ada gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah. *Setting* rele *groundfault* pada sistem kelistrikan ITS harus mempertimbangkan nilai *setting* dari *Netral Grounding Resistance* (NGR) yang ada pada transformator 150 kV/20kV yang menjadi sumber utama kelistrikan di ITS.

Pada sistem kelistrikan ITS berbentuk radial dengan dua level tegangan yaitu 20 kV, dan 0,4 kV. Analisa yang dilakukan pada koordinasi rele *groundfault* ini, dilakukan pada level tegangan 20 kV. Ini artinya bagaimana koordinasi proteksi rele *groundfault* pada masing-masing *case*, baik itu pada *case* 1 ataupun *case* 2 yang sudah mengalami proses *resetting* sebelumnya saat terjadi gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah.

Pada sistem kelistrikan ITS, nilai *netral grounding resistance* pada transformator 150 kV/20kV yang berada pada gardu induk sukolilo memiliki nilai 23 A, dan resistansi 500 ohm. Nilai ini yang akan menjadi acuan perhitungan *setting* rele *groundfault* pada masing-masing rele yang ada pada sistem kelistrikan ITS.

4.11.1 Koordinasi Proteksi Baru Rele *Groundfault* pada case 1

Untuk koordinasi proteksi baru rele *groundfault* pada *resetting* case 1 dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* Sipil, dan CB sipil. Case 1 dapat dilihat pada gambar 4.44 berikut ini :



Gambar 4.44 Koordinasi Proteksi Baru Rele *Groundfault* pada Case 1

Berikut ini merupakan perhitungan rele-rele yang akan disetting dan parameter dari masing-masing rele *groundfault* pada tipikal 1 :

✓ **Rele 4**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T20
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,1 detik

✓ **Rele 3**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T20
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,3 detik

✓ **Rele 3**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T20
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

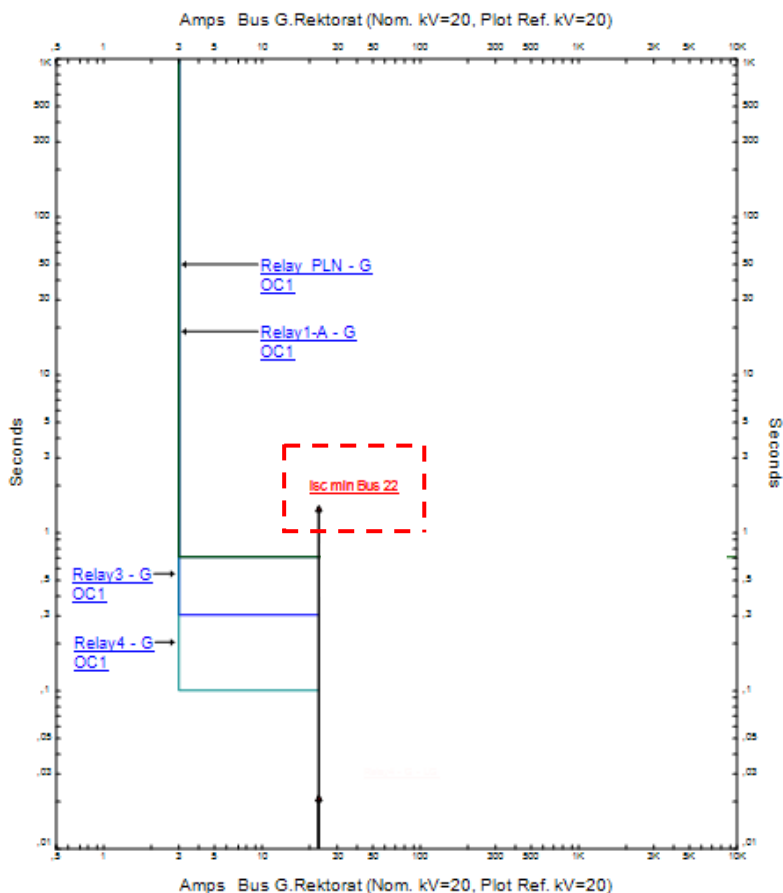
$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,7 detik

Dari perhitungan diatas dapat diplot kurva koordinasi proteksi pada software ETAP. Hasil koordinasi rele groundfault dengan setting *resetting* rele PLN dapat dilihat pada Gambar 4.45 dibawah ini :

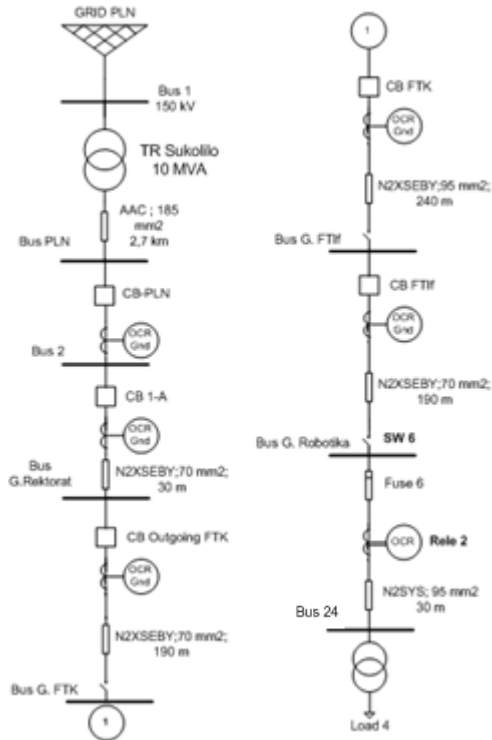


Gambar 4.45 Hasil Plot *Resetting Rele Groundfault* pada *Case 1*

Dari hasil *Plot* kurva rele *groundfault* yang baru pada *case 1* pada gambar 4.45, dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah pada bus 22, maka gangguan ini dapat diatasi dengan *grading time* yang lebih baik. Koordinasi *grading time* antar rele sebesar 0,1 s dengan dimulai dari rele 4 sebagai rele yang terdekat saat terjadi gangguan ke tanah di bus 22 pada level tegangan 20 kV.

4.11.2 Koordinasi Proteksi Baru Rele *Groundfault* pada *case 2*

Untuk koordinasi proteksi baru rele arus lebih pada *case 2* dimulai dari CB-PLN, CB 1-A, CB *Outgoing* FTK, CB FTK, CB FTIf, *Switch* 6 dan *fuse* 6. *Case 2* dapat dilihat pada gambar 4.40 berikut ini :



Gambar 4.40 Koordinasi Proteksi Baru Rele *Groundfault* pada *Case 2*

Berikut ini merupakan perhitungan rele-rele *groundfault* yang akan disetting dan parameter dari masing-masing rele pada tipikal 2 :

✓ **Rele 8**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T20
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,1 detik

✓ **Rele 7**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T20
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,3 detik

✓ **Rele 6**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T20
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,5 detik

✓ **Rele 6**

Manufacturer : Merlin Gerin
Model : SEPAM T42
Curve Type : IEC – *Definite Time*
CT Ratio : 100 / 1

Instantaneous Pickup

$$10\% \times I_{sc} \text{ L-G} \leq I_{set} \leq 50\% \times I_{sc} \text{ L-G}$$

$$10\% \times 23 \leq I_{set} \leq 50\% \times 23$$

$$2,3 \text{ A} \leq I_{set} \leq 11,5 \text{ A}$$

$$\frac{2,3}{100} I_n \leq \text{Tap} \leq \frac{11,5}{100} I_n$$

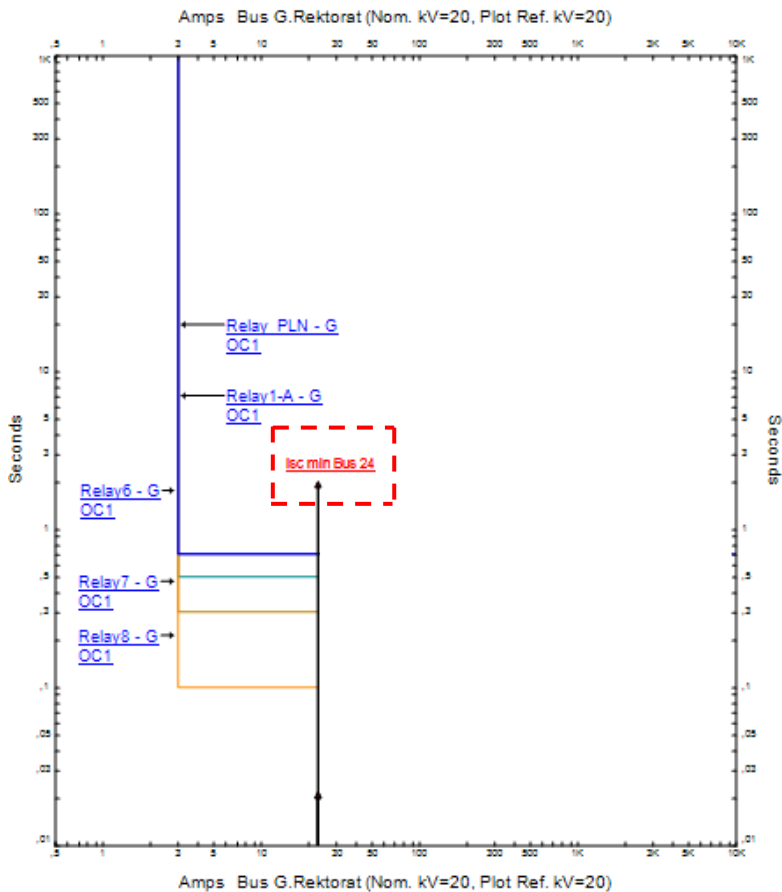
$$0,023 I_n \leq \text{Tap} \leq 0,115 I_n$$

$$\begin{aligned} \text{Dipilih Tap } 0,1 I_n &= 0,03 \times 100 \\ &= 3 \text{ A} \end{aligned}$$

Time Delay

Time Delay dipilih 0,7 detik

Hasil koordinasi rele *groundfault* setelah *resetting* dapat dilihat pada Gambar 4.45 dibawah ini :



Gambar 4.46 Hasil Plot *Resetting* Rele *Groundfault* pada Case 2

Dari hasil plot kurva *resetting* rele *groundfault* pada case 2 gambar 4.46 diatas dapat dilihat bahwa saat terjadi gangguan hubung singkat ke tanah pada bus 24, maka gangguan ini dapat diatasi dengan *grading time* yang lebih baik. Koordinasi anar rele mempunyai waktu *grading time* sebesar 0,1 s dan dimulai dari rele 8.

4.12 Tabulasi Eksisting dan *Resetting* Peralatan Pengaman

Tabulasi eksisting dan *resetting* merupakan bentuk penyajian data-data peralatan pengaman sistem kelistrikan ITS yang saat kondisi eksisting maupun saat kondisi *resetting* dan ditampilkan dalam sebuah tabel. Tujuan dibuatnya tabulasi ini agar penulis dapat menyajikan hasil analisa yang sudah dilakukan pada peralatan pengaman kelistrikan di ITS sehingga lebih mudah untuk dipahami. Tabulasi ini dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut ini :

Tabel 4.7 Tabulasi Eksisting dan *Resetting* Peralatan Pengaman

GARDU	FEEDER	DEVICE			SETTING									
					EKSISTING					RESETTING				
		EKSISTING	RESETTING	CT	Curve	Low Set	Time	High Set	Time	Curve	Low Set	Time	High Set	Time
						AMP	Dial	AMP	Delay		AMP	Dial	AMP	Delay
CSS	INCOMER PLN	50/51	50/51	100/5	DT	62	0,5	248	0.1	SI	62	1,54	770	0.7
		51 G	51 G	ZCT	DT	7.5	0,1	N/A	0.1	DT	3	N/A	N/A	0.7
	OUTGOING FTSP	50/51	50/51	100/5	SI	27	0,5	108	0.1	SI	40	0,76	700	0.3
		51 G	51 G	ZCT	DT	7.5	0,3	N/A	0.1	DT	3	N/A	N/A	0.3
	OUTGOING FTK	50/51	50/51	75/5	VI	15	0,4	60	0.2	SI	37.5	1,28	593	0.5
		51 G	51 G	ZCT	DT	7.5	0.1	N/A	0.1	DT	3	N/A	N/A	0.5
	TR 800 KVA	Fuse	Fuse	63 A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A
			51	50/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	25	0,26	N/A	0.4
FTSP	INCOMER	LBS	LBS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	OUTGOING D3	LBS	50/51	100/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	25	0,26	590	0.1
			51 G	ZCT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	DT	3	N/A	N/A	0.1
	TR 800 KVA	Fuse	Fuse	63 A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A
			51	50/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	25	0,26	N/A	0.4
D3	INCOMER	LBS	LBS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TR 800 KVA	Fuse	Fuse	63 A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A
			51	50/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	25	0,26	N/A	0.4
FTK	INCOMER	Fuse	LBS	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	OUTGOING FTIF	Fuse	50/51	100/5	F	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	18	0,89	520	0.3
			51 G	ZCT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	DT	3	N/A	N/A	0.3
	TR 800 KVA	Fuse	Fuse	63 A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A
			51	50/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	25	0,26	N/A	0.4
FTIF	INCOMER	Fuse	LBS	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	OUTGOING ROBOTIKA	Fuse	50/51	100/5	F	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	19	0,27	470	0.1
			51 G	ZCT	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	DT	3	N/A	N/A	0.1
ROBOTIKA	INCOMER	LBS	LBS	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	TR 630 KVA	Fuse	Fuse	63 A	F	N/A	N/A	N/A	N/A	F	N/A	N/A	N/A	N/A
			51	50/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	SI	25	0,26	N/A	0.4

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan studi penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan ITS yang meliputi proses monitoring temperatur, kelembaban pada gardu dan analisis studi koordinasi proteksinya, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Nilai Temperatur dan kelembaban pada gardu yang telah direkonfigurasi lebih rendah bila dibandingkan dengan gardu yang belum direkonfigurasi. Pada gardu yang telah direkonfigurasi memiliki rata-rata nilai temperatur 24°C dan kelembaban 57%. Sedangkan pada gardu yang belum terekonfigurasi memiliki rata-rata nilai temperatur 33°C dan kelembaban 65%.
2. Untuk setelah *eksisting* rele *overcurrent* terdapat kesalahan pada *gradding time*, khususnya pada koordinasi *gradding time* pada rele PLN.
3. Terdapat penggantian peralatan pengaman, diantaranya adalah LBS 2 (*outgoing* ke gardu D3) diganti dengan *circuit breaker*, *fuse* 4 dan *fuse* 6 diganti dengan LBS, *fuse* 5 dan *fuse* 7 diganti dengan *circuit breaker*.
4. Ada penambahan rele *overload* pada bagian sisi pengaman primer transformator distribusi sebagai pengaman beban lebih.
5. Setelah dilakukan *resetting* untuk koordinasi proteksi (fasa), koordinasi dan *setting* antar rele telah sesuai dengan standar IEEE 242. Namun perlu adanya *setting* ulang rele dari pihak PLN agar dapat dikoordinasikan dengan rele yang lain.
6. Untuk *resetting* koordinasi rele *groundfault*, mengikuti *setting* rele dari rele *overcurrent* karena hubungan *grounding* pada semua trafo yang menuju beban 0,4 kV adalah solid.

5.2 Saran

Saran yang diberikan setelah dilakukan studi penyempurnaan jaringan 20 kV pada sistem kelistrikan ITS adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya koordinasi ulang antara pihak PLN selaku pemilik kewenangan untuk merubah *setting* rele PLN dengan pihak ITS agar

nilai *setting* PLN dapat dikoordinasikan dengan rele-rele yang ada pada sistem kelistrikan di ITS.

2. Agar nilai temperatur dan kelembaban pada gardu yang belum terekonfigurasi dapat lebih rendah, maka perlu diperlukan pemasangan *air conditioner* dan pembersihan lingkungan gardu secara berkala, agar lingkungan gardu dapat terjaga kebersihannya.
3. Hasil dari laporan tugas akhir ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk *setting* rele pada sistem kelistrikan jaringan 20 kV di ITS.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wahyudi, "**Diklat Kuliah Pengaman Sistem Tenaga Listrik**", Teknik Elektro ITS, Surabaya.
- [2] Hadi Saadat, (1999), "**Power System Analysis**" McGRAW-HILL, Third Editions.
- [3] Galuh Sumekar, "**Studi Koordinasi Proteksi Arus Lebih Fasa dan Ground Sistem Pembangkit UP PLTU Pacitan**", Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Surabaya, 2015.
- [4] Preve, Christophe, "**Protection of Electrical Networks**", ISTE Ltd., London, *Great Britain and The United State*, 2006
- [5] Schneider electric : SM6-24 *Medium Voltage / Low Voltage transformer substations up to 24 kV*.
- [6] IEEE Std 242-2001, **IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power System**.
- [7] Anderson, P.M, "**Power System Protection**", John Wiley & Sons, Inc., Canada, 1998.
- [8] Manual SEPAM S40 *Schneider Electric*, 2016.
- [9] Manual SEPAM S20 *Schneider Electric*, 2016.
- [10] Sudjadi. MT, (2005), **Teori dan Aplikasi Mikrokontroller**, edisi pertama, Graha Ilmu, Yogyakarta.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN A

Data Eksisting Kelistrikan ITS

Name of Project : Gardu Rektorat
Project Ref : Incoming / Induk
Substation :
Serial Number of Cubicle : B49413061
Serial Number of Relay : 120 400 98
Type of Relay : S42

A. SETTING RECORD

1. SEPAM S/N : 120 400 98
2. DEVICE
i Nominal : 100 A
i Basis : 100 A
F Nominal : 50 Hz
Aux Power Supply : 220VAC

Irelay

Curva : Definite Time
Is : 62 A
t> : 500 msec
Curva : Definite Time
t>> : 248 A
t>> : 100 msec

Io Relay

Curva : Definite Time
Is : 7,5 A
t> : 100 msec
Curva : Definite Time
t>> : 29,5 A
t>> : 100 msec

Name of Project : Gardu Rektorat
Project Ref : Gardu Sipil
Substation : *Outgoing 1*
Serial Number of Cubicle : B99326542
Serial Number of Relay : 102 300 96
Type of Relay : T20

A. SETTING RECORD

1. SEPAM S/N : 120 400 98
 2. DEVICE
 i Nominal : 50 A
 i Basis : 50 A
 F Nominal : 50 Hz
 Aux Power Supply : 220VAC

Irelay

Curva : *Standar Inverse*
Is : 27 A
t> : 500 msec
Curva : *Definite Time*
t>> : 108 A
t>> : 100 msec

Io Relay

Curva : *Definite Time*
Is : 7,5 A
t> : 300 msec
Curva : *Definite Time*
t>> : 29,5 A
t>> : 100 msec

Name of Project : Gardu Rektorat
Project Ref : Gardu FTK
Substation : Outgoing 2
Serial Number of Cubicle : B49240058
Serial Number of Relay : 102 80056
Type of Relay : T20

A. SETTING RECORD

1. SEPAM S/N : 100 800 56
 2. DEVICE
 i Nominal : 75 A
 i Basis : 75 A
 F Nominal : 50 Hz
 Aux Power Supply : 220VAC

Irelay

Curva : Very Inverse Time
Is : 15 A
t> : 400 msec
Curva : Definite Time
t>> : 60 A
t>> : 200 msec

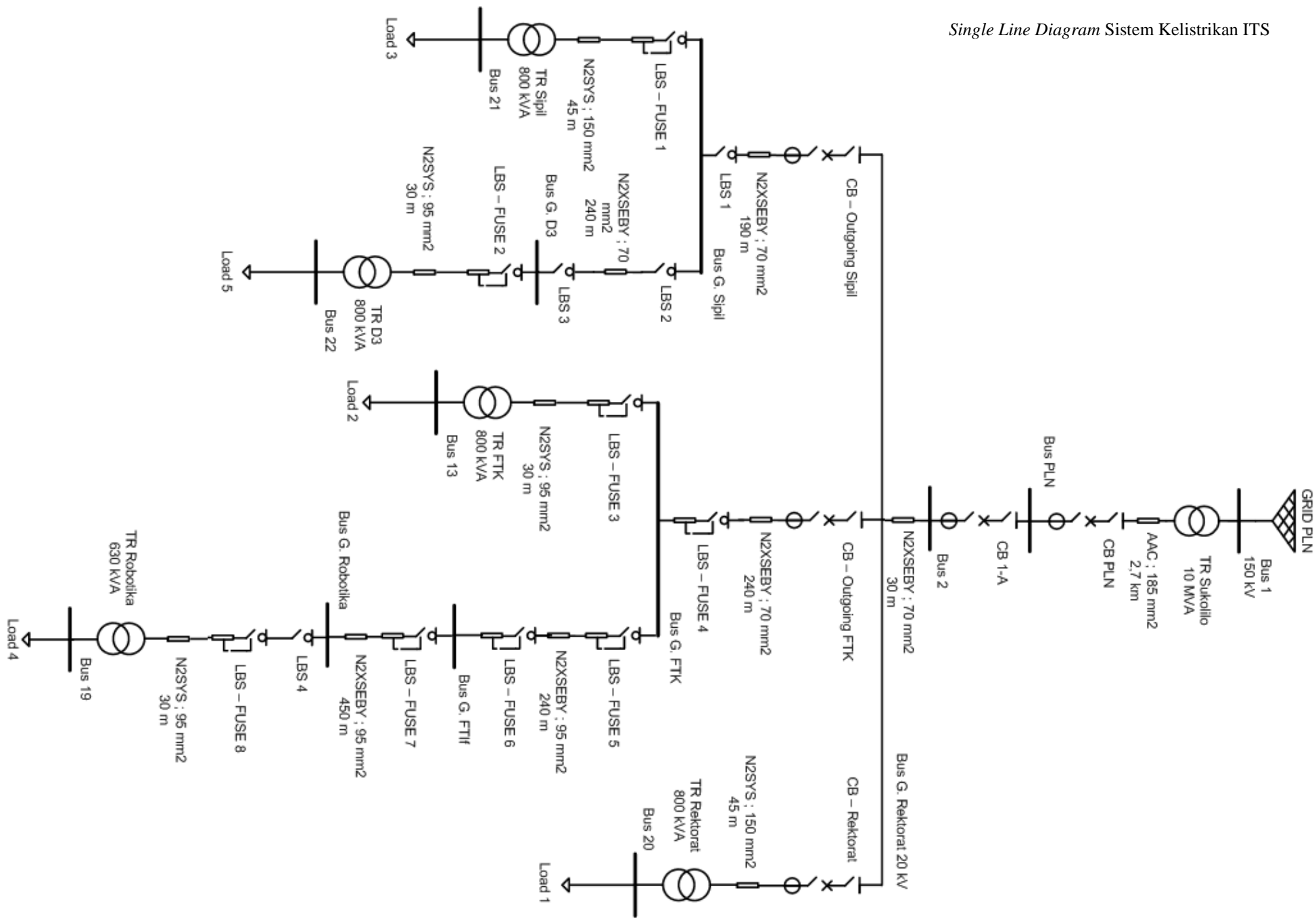
Io Relay

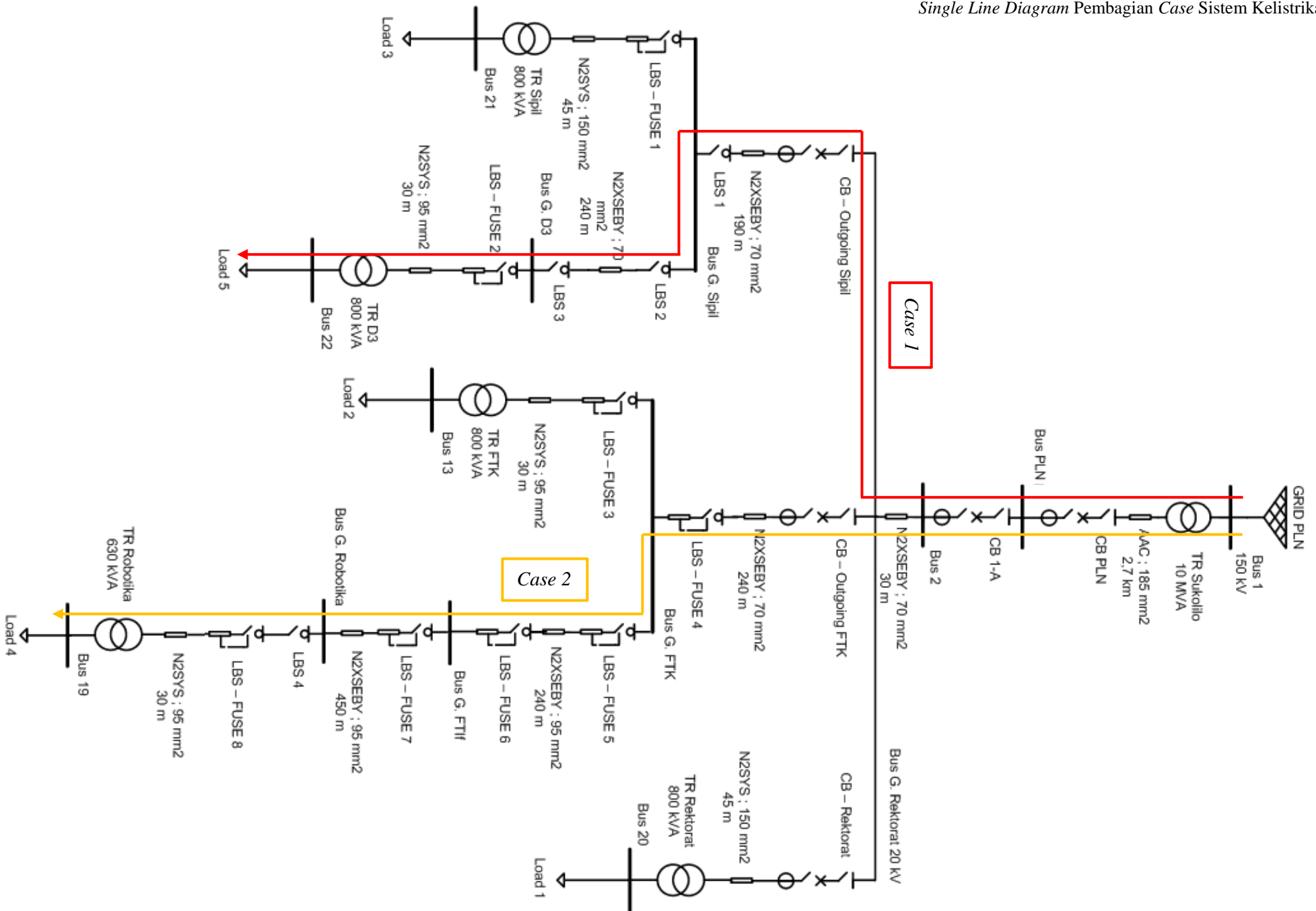
Curva : Definite Time
Is : 7,5 A
t> : 100 msec
Curva : Definite Time
t>> : 29,5 A
t>> : 100 msec

Tabel Peralatan Eksisting Kelistrikan ITS

Berikut merupakan spesifikasi peralatan eksisting kelistrikan ITS secara lengkap :

1. Pengaman PLN : **Merk : Merlin Gerin**,
Type : SEPAM 40, Transformer, merk : SADTEM 100/5
2. Gardu *Central Substation* (Rektorat) :
 - a. *CB Incoming* PLN **Merk : Merlin Gerin**
Type : SEPAM 40, Transformer, merk : SADTEM 100/5
 - b. *CB Outgoing* ke Gardu Sipil **Merk : Merlin Gerin**
Type : SEPAM 40 Transformer, merk : SADTEM 100/5
 - c. *CB Outgoing* G. Rektorat **Merk : Merlin Gerin**
Type : SEPAM 40 Transformer, merk : SADTEM 100/5
 - d. *CB Outgoing* G. FTK **Merk : Merlin Gerin**
Type : SEPAM 20 Transformer, merk : SADTEM 75/5
3. Gardu Teknik Sipil :
 - a. *Incoming* dari G. Rektorat :
LBS : **Merk Merlin Gerin** Type HN64S41.
 - b. *Outgoing* ke Trafo : Fuse 1 : *Sole Fuse*
4. Gardu D3 :
 - a. *Incoming* dari G. Sipil :
LBS : **Merk Merlin Gerin** Type HN64S41.
5. Gardu FTIf :
 - a. *Incoming* dari G. Kelautan : Fuse 6 : *Sole Fuse*
 - b. *Outgoing* ke G. Robotika : Fuse 7 : *Sole Fuse*
6. Gardu Robotika :
 - a. *Incoming* dari G. FTIf :
LBS : **Merk Merlin Gerin** Type HN64S41.
 - b. *Outgoing* ke G. Trafo : Fuse 8 : *Sole Fuse*







LAMPIRAN C

Program Data Logger

```
#include <Adafruit_Sensor.h>

#include <DHT.h>

#include <DHT_U.h>

#include <Wire.h>

#include <TimeLib.h>

#include <DS1307RTC.h>

#include <SPI.h>

#include <SD.h>

#include <LiquidCrystal.h>

LiquidCrystal lcd(3, 4, 5, 6, 7, 8);


const int chipSelect = 10;

#define DHTPIN 2    // what digital pin we're connected to

#define DHTTYPE DHT22  // DHT 22 (AM2302), AM2321

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);


void setup() {

  Serial.begin(9600);

  lcd.begin(16,4);

  Serial.println("DHTxx test!");
```



```

dht.begin();

Serial.print("Initializing SD card...");

pinMode(10, OUTPUT);

if (!SD.begin(chipSelect)) {

    Serial.println("Card failed, or not present");

    return;

}

Serial.println("System Ready");

delay(200);

}

```

```

tmElements_t tm;

char kar[100];

int detik,menit,jam,tanggal,bulan,tahun;

void waktu()

{

```

```

if (RTC.read(tm)) {

    Serial.print("Ok, Time = ");

    print2digits(tm.Hour);

    jam = tm.Hour;

    Serial.write(':');

    print2digits(tm.Minute);

```

```

menit = tm.Minute;

Serial.write(':');

print2digits(tm.Second);

detik = tm.Second;

Serial.print(", Date (D/M/Y) = ");

Serial.print(tm.Day);

tanggal = tm.Day;

Serial.write('/');

Serial.print(tm.Month);

bulan = tm.Month;

Serial.write('/');

Serial.print(tmYearToCalendar(tm.Year));

tahun = tm.Year;

Serial.println();

} else {

    if (RTC.chipPresent()) {

        Serial.println("The DS1307 is stopped. Please run the SetTime");

        Serial.println("example to initialize the time and begin running.");

        Serial.println();

    } else {

        Serial.println("DS1307 read error! Please check the circuitry.");

        Serial.println();

    }

}

```

```

    delay(9000);

}

//delay(1000);

}

void print2digits(int number) {
    if (number >= 0 && number < 10) {
        Serial.write('0');
    }
    Serial.print(number);
}

void loop() {
    String dataString = "";

    delay(1000);
    waktu();

    float h = dht.readHumidity();
    float t = dht.readTemperature();
    float f = dht.readTemperature(true);

    if (isnan(h) || isnan(t) || isnan(f)) {

        Serial.println("Failed to read from DHT sensor!");
    }
}

```

```

    return;
}

float hif = dht.computeHeatIndex(f, h);
float hic = dht.computeHeatIndex(t, h, false);
h = h -7;
t = t -1;

File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
if (dataFile) {
    dataFile.println(h);
    dataFile.close();
}
else {
    Serial.println("error opening datalog.txt");
}

lcd.setCursor(0,0);lcd.print(h);
lcd.setCursor(0,1);lcd.print(t);

lcd.setCursor(0,2);lcd.print(jam);
lcd.setCursor(4,2);lcd.print(menit);
lcd.setCursor(8,2);lcd.print(detik);

```

```
lcd.setCursor(0,3);lcd.print(tanggal);  
lcd.setCursor(4,3);lcd.print(bulan);  
lcd.setCursor(8,3);lcd.print("2017");  
//lcd.print(print2digits(tm.Hour));
```

```
Serial.print("Humidity: ");  
Serial.print(h);  
Serial.print(" %\t");  
Serial.print("Temperature: ");  
Serial.print(t);  
Serial.print(" *C ");  
Serial.print(f);  
Serial.print(" *F\t");  
Serial.print("Heat index: ");  
Serial.print(hic);  
Serial.print(" *C ");  
Serial.print(hif);  
Serial.println(" *F");  
}
```

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Nama : Dany Setyawan
TTL : Malang, 26 Desember 1994
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
Alamat : Jalan Mutiara Blok J.07
Desa Martopuro, Kec.
Purwosari, Kab. Pasuruan
Telp/HP : 081937196114
E-mail : Danysetyawan2015@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

1. 2000 – 2006 : SD Negeri Martopuro 2
2. 2006 – 2009 : SMP Negeri 1 Purwosari
3. 2009 – 2012 : SMA Negeri 1 Purwosari
4. 2012 – 2015 : D3 Teknik Elektro, Program Studi Teknik Elektro Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
5. 2015 – 2017 : Lintas Jalur S1 Teknik Elektro, Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga, Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

PENGALAMAN KERJA

1. Kerja Praktek di PT. Jaya Kertas, Kertosono, Jawa Timur
2. Kerja Praktek di PT. Indolakto, Pandaan, Jawa Timur
3. Kerja Praktek di PT. Bambang Djaja, Rungkut, Surabaya

PENGALAMAN ORGANISASI

1. Staff Departemen Hubungan Luar Periode 2013/2014
HIMAD3TEKTRO, FTI - ITS
2. Kabiرو Departemen Hubungan Luar Periode 2014/2015
HIMAD3TEKTRO, FTI - ITS

Halaman ini sengaja dikosongkan